



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

VATTNINGSBEHOV OCH NÄRINGSTILLFÖRSEL

Föredrag presenterade vid NJF-seminarium nr 151
Landskrona, 1–3 augusti 1989

Sammanställt av **Ragnar Persson och Atle Wredin**



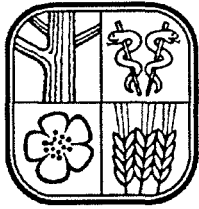
Seminarium arrangerat av
Nordiske Jordbrugsforskernes Forening
Sektion III – Hagebruk
Sektion VIII – Kulturteknikk

**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Avdelningsmeddelande 89:7
Uppsala 1989**

ISSN 0282-6569

ISBN 91-576-3950-7



**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

VATTNINGSBEHOV OCH NÄRINGSTILLFÖRSEL

Föredrag presenterade vid NJF-seminarium nr 151
Landskrona, 1–3 augusti 1989

Sammanställt av **Ragnar Persson och Atle Wredin**



Seminarium arrangerat av
Nordiske Jordbruksforskernes Forening
Sektion III – Hagebruk
Sektion VIII – Kulturteknikk

**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Avdelningsmeddelande 89:7
Uppsala 1989**

ISSN 0282-6569

ISBN 91-576-3950-7

FÖRORD

NJF-s sektion III - trädgård och sektion VIII - kulturteknik avhöll 1 till 3 augusti 1989 ett seminarium med titeln "Vattningsbehov och näringstillförsel". Seminariet arrangerades gemensamt av arbetsgruppen för grönsaker inom sektion III och arbetsgruppen för bevattning inom sektion VIII.

Målet var att ur olika infallsvinklar belysa resurssnål användning av växtnäring och vatten. Bättre anpassning av bevattningen med hänsyn till väderlek, markfuktighet och gröda liksom möjligheter att förbättra växtnäringsutnyttjandet var frågor som skulle diskuteras. I dessa teman inkluderas energi- och vattensnål bevattningsteknik (rampbevattning) samt teknik för och effekter av kombinerad vatten- och näringstillförsel.

Målet beskrevs i inledningsanförandet som hölls av sektionsordf. i sekt. VIII, statsagronom Harry Linnér. Han betecknade seminariets ämnesfält som högaktuellt mot bakgrund av den gångna odlingssäsongens torka och de restriktioner beträffande vattenuttag som givits i vissa områden. Debatten om näringsläckage aktualiserar också frågor om förbättrad styrning av och teknik för såväl bevattning som gödsling.

Seminariet samlade ett 70-tal deltagare (18 från Danmark, 6 från Finland, 9 från Norge och 39 från Sverige) varav ungefär hälften hade huvudintresset inriktat mot grönsaker och den andra hälften mot jordbruksgrödor. För att tillgodose de olika inriktningarna kunde deltagarna under två av sessionerna välja bland två parallella program efter intresse.

Förutom sammanlagt 26 föredrag omfattade programmet en skärmutställning på nämnda teman samt exkursioner. Under exkursionerna demonstrerades rampbevattningsteknik och bevattningsförsök. Därtill besöktes lantbrukare/grönsaksodlare som satsat på ny och spännande teknik. Seminariet avslutades med en paneldebatt över ämnet "Resursutnyttjande och föroreningsrisker vid gödsling och bevattning". I debatten återknöts till flera av seminariets föredrag. Behovet av forskning kring frågor om vatten- och växtnäringsutnyttjande poängterades liksom behovet av att forskningsresultat förs ut och kan utnyttjas.

Föredragen vid seminariet bedöms ha intresse i en vidare krets varför det förtryck som utdelades till seminariedeltagarna här utges inom ramen för en publikation. Författarna har efter seminariet haft möjlighet att göra justeringar och tillägg till sina uppsatser.

Ragnar Persson och Atle Wredin

INNEHÅLL

PROGRAM		7
FÖREDRAG:		
Grödornas vattenhushållning	Waldemar Johansson	9
Følsomme stadier for vandstress hos forskellige afgrøder	V. Overgaard Mogensen	23
Plant water relations, approaches and measurements	Christian R. Jensen	45
Water budget of an agricultural field - measuring techniques used in a Finnish experiment	Martti Heikinheimo	65
Valg av vanningsstrategi til ulike vekster: korn, potet, gulrot og løk	Hugh Riley	73
Computation of crop water balance: micro-computer based programs for teaching and research	Tuomo Karvonen	89
MARKVAND Et EDB-baseret vandingssstyrningssystem	Finn Plauborg	97
Naeringsvatning - teknikk og muligheter	Kristian Kongsrud	105
Dys-rampbevattning i jämförelse med spridarbevattning	Sven-Erik Svensson	111
Ett flexibelt system för datorstyrd tillförsel av vatten och näring	Jan Parsby	115
Ulike jordbruksveksters potensielle vassforbruk	Einar Myhr	117
Følsomme stadier for tørkestress hos jorbruksvekster	Hugh Riley	125
Byg og aerters tørkefølsomhed i forskellige vækstfaser	Uffe Jørgensen	141
Vanding i saedskiftet	Annette Andersen	151
Loevmaessigheder for plantebevoksningers optagelse af næringsstoffer fra jord og gennem deres blade	Niels Erik Nielsen	161
Växt- och jordanalys för växtnäringssstyrning	Hans-Ivar Svensson	193

Gødskning efter N-min.-metoden	Hans S. Østergaard	197
Teknik för växtnäringsbevattning	Göte Bertilsson	199
Möjligheter till bättre växtnäringsutnyttjande vid radgödsling i grönsaker	Gunnar Erlandsson	203
Gødskning av grønsager på basis av N-min metoden	Jørn Nygaard Sørensen	209
Balansräkning av växtnäringstillförseln till frilandsgrönsaker	Margareta Magnusson	219
Delt gjødsling og tilleggsjødsling til korn. Avling, kvalitet og avrenning	Hans Stabbetorp	225
Samspill med næringstilgang i forbindelse med vanningsforsøk	Egil Ekeberg	237
Styrning av kvävegivan i bevattnad potatis	Harry Linnér	245
Vekselvirkning mellem kaliumgødskning og vanding i byg	Mathias Andersen	251
Vanding og gødskning af vinterhvede	Ejvind Hejlesen	263
DELTAGARLISTA		273

P R O G R A M

NJF-seminarium nr 151

VATTNINGSBEHOV OCH NÄRINGSTILLFÖRSEL

Tisdag 1/8

- 09.00 Registrering och kaffe
09.50 Seminariets öppnande
- 10.00 Grödornas vattenhushållning. Professor Waldemar Johansson(S)
10.30 Følsomme stadier for vandstress hos forskellige afgrøder.
Lektor V. Overgaard Mogensen (DK)
11.00 Paus
11.15 Plant water relations, approaches and measurements.
Lektor Christian R. Jensen (DK)
11.45 Water budget of an agricultural field - measuring techniques
used in a Finnish experiment. Agronometeorolog Martti Heikinheimo(SF)
12.15 Lunch
13.30 Valg av vanningsstrategi til ulike vekster:korn, potet,gulrot og
løk. Forsker Hugh Riley (N)
14.00 Computation of crop water balance:micro-computer based programs
for teaching and research. Forskare Tuomo Karvonen (SF)
14.30 MARKVAND Et EDB-baseret vandingssystem.
Forsker Finn Plauborg
15.00 Kaffe
15.15 Presentation av skärmutställning
16.00 Separata program för sektion III och VIII
Sektion III
16.00 Næringsvatning - teknikk og muligheter. Forsker Kristian Kongsrud(N)
16.30 Dys-rampbevattning i jämförelse med spridarbevattning.
Civ.ing. Sven-Erik Svensson (S)
17.00 Ett flexibelt system för datorstyrd tillförsel av vatten och
näring. Forskningsingenjör Jan Parsby (S)
Sektion VIII
16.00 Ulike jordbruksveksters potensiella vassforbruk.
Professor Einar Myhr (N)
16.30 Følsomme stadier for tørkestress hos jordbruksvekster.
Forsker Hugh Riley (N)
17.00 Byg og ærterers tørkefølsomhed i forskellige vækstfaser.
Forsker Uffe Jørgensen (DK)
17.30 Vanding i saedskiftet. Forsker Annette Andersen (DK)
19.30 GEMENSAM MIDDAG

Onsdag 2/8

Heldagsexkursion enligt speciellt program

19.00 Middag

Torsdag 3/8

08.00 Lovmaessigheder for plantebevoksningers optagelse af naeringsstoffer fra jord og gennem deres blade.
Professor Niels Erik Nielsen (DK)

09.10 Växt- och jordanalys för växtnäringsstyrning.
Agr. lic. Hans-Ivar Svensson (S)

09.35 Gødskning efter N-min.-metoden. Konsulent Hans S. Østergaard (DK)

10.05 Teknik för växtnäringsbevattnings. AgrD Göte Bertilsson (S)

10.25 Kaffe

Separata program för sektion III och VIII

Sektion III

10.40 Möjligheter till bättre växtnäringsutnyttjande vid radgödsling i grönsaker. Försöksledare Gunnar Erlandsson (S)

11.10 Gødskning av grønsager på basis av N-min metoden.
Forsker Jørn Nygaard Sørensen (DK)

11.40 Balansräkning av växtnäringsstillförseln till frilandsgroensaker.
Försöksledare Margareta Magnusson (S)

12.10 Diskussion

Sektion VIII

10.40 Delt gjødsling og tilleggsjødsling til korn. Avling, kvalitet og avrenning. Forsker Hans Stabbetorp

Samspill med naeringstilgang i forbindelse med vanningsforsøk.
Forsker Egil Ekeberg (N)

11.20 Styrning av kvävegivan i bevattnad potatis.
Statsagronom Harry Linner (S)

11.45 Vekselvirkning mellem kaliumgødskning og vanding i byg.
Forsker Mathias Andersen (DK)

12.10 Vanding og gødskning af vinterhvede. Forsker Ejvind Hejlesen (DK)

12.40 Lunch

13.30 Paneldebatt: Resursutnyttjande och föroreningsrisker vid gödsling och bevattnings

15.30 Kaffe

Waldemar Johansson
Inst. för markvetenskap
Sveriges lantbruksuniversitet
S- 750 07 Uppsala

GRÖDORNAS VATTENHUSHÅLLNING

I n l e d n i n g

En grödas upptagning, utnyttjande och avgivning (förlust) av vatten under en tidsperiod definierar dess vattenhushållning under perioden ifråga. Hur stor vattenmängd som omsättes per tidsenhet, och till en obetydlig del inlagras i grödan, beror av de meteorologiska betingelserna, av grödans (växternas) egenskaper och av fuktighetsförhållandena i rotzonen. I det följande skall jag översiktligt belysa hur olika faktorer inverkar på vattenupptagningen i rotzonen, på avdunstningen från mark och bestånd (evapotranspirationen) samt på nyttjandegraden av det vatten som tillföres rotzonen.

Meteorologiska betingelser för avdunstning från mark och bestånd

Avdunstning från en yta förutsätter kontinuerlig tillförsel av energi för ångbildning, förekomst av vatten vid ytan och lägre ångtryck invid densamma än i luften ovanför samt borttransport av vattenånga genom diffusion och/eller konvektion. Tillförseln av energi och bortförseln av vattenånga bestäms i huvudsak av meteorologiska faktorer; av instrålning, vindhastighet och luftens torrhet. Luftens torrhet bestäms av luftfuktighet och temperatur. Tillförseln av vatten från rotzonen till en beståndsyta beror av markens och beståndets (växternas) egenskaper. Vattentillflödet underifrån till en bar markyta beror av markens egenskaper och av grundvattentytans djup.

För varje typ av avdunstande yta har man sålunda ett tak för avdunstningens storlek per tidsperiod. Detta gränsvärde är i huvudsak bestämt av de meteorologiska betingelserna och det nås när tillgången eller tillflödet av vatten till ytan icke är begränsande. Man kan med Hillel (1980) tala om "atmospheric evaporitativity" eller "evaporative demand of the atmosphere". På svenska kan vi tala om evaporitiviteten eller luftens (atmosfärens) vattenupptagande förmåga. Vanligare men mindre beskrivande begrepp är potentiell evaporation och potentiell evapotranspiration. Generellt kan evaporitiviteten (potentiella evaporationen, potentiella eva-

potranspirationen etc) skrivs på formen

$$\text{Evaporitivitet} = a \cdot q_E + b \cdot f(v) (e_m - e) \quad (1)$$

där

q_E = tillgänglig energi för avdunstning och/eller transpiration

$f(v)$ = funktion av vindhastigheten v

e_m = luftens mättnadsångtryck

e = luftens aktuella ångtryck

a och b = koefficienter

Den tillgängliga energin q_E för ångbildning är bestämt av uttrycket

$$q_E = q_n - (q_s + q_e + q_p + q_a) \quad (2)$$

där

$q_n = q(1-r) + q_b$ = strålningsbalans

q_s = värmeflöde till mark och bestånd

q_e = värmeflöde till luften

q_p = energiflöde för fotosyntes

q_a = energiflöde till omgivningen

q = globalstrålning

r = albedo

q_b = långvågig nettoutstrålning

I ekvation 2 ingår en term (q_a) för det horisontella energiutbytet med omgivningen. Denna s.k. advektion kan ha stor inverkan på avdunstningen eller evapotranspirationen i de yttre delarna av ett homogent område liksom t.ex. för vattenbortgången från olika delytor inom ett glest busk- eller trädbestånd.

Energiåtgången för fotosyntes (q_p) kan normalt försummas jämfört med övriga termer i ekvation 2. Kan även advektionen q_a försummas får ekvationen 2 formen

$$q_E = q_n - (q_s + q_e) \quad (3)$$

Detta är en ekvation för en strålningsbestämd eller "lokal" energibalans, då energiflödet för fotosyntes försummas. Den gäller för vindstilla förhål-

landen samt för delytor inom ett ytmässigt homogent område, vilka ej påverkas av horisontellt energiutbyte med utanförliggande områden.

Avdunstningsbegrepp

Vid analys och diskussion om avdunstningen från mark och bestånd har man, enligt min uppfattning, behov av följande begrepp:

1. Potentiell evaporation, E_p = möjlig avdunstning/tidsenhet - från en tänkt eller given yta - med hänsyn till de meteorologiska betingelserna.

E_p utgör ett mått på evaporitiviteten och kan mätas med avdunstningsmätare eller beräknas på basis av meteorologiska data. En mätarens utformning, egenskaper och exposition påverkar mätvärdenas storlek. Olika beräkningsmetoder ger också sällan likstora värden under samma betingelser.

2. Potentiell evapotranspiration, E_T = avdunstning/tidsenhet från en central yta inom ett vidsträckt område med kort, grönt, växande bestånd, som helt täcker markytan och är välförsörjt med vatten. Definitionen svarar mot Penman's (1948) för potentiell transpiration.

Om E_T beräknas på basis av meteorologiska data och utan beaktande av värmefflöde till mark och bestånd, blir det ett meteorologiskt bestämt mått likvärt med potentiell evaporation E_p .

E_T är mindre än avdunstningen från en fri vattenyta som följd av att en grön beståndsyta har högre albedovärde än vattenytor.

3. Maximal evapotranspiration, E_{max} = avdunstning/tidsenhet från mark och bestånd vid - för vattenupptagning och transpiration - optimal vattentillgång i rotzonen.

$$E_{max} = k \cdot E_T \quad (4)$$

där k är en gröd- eller ytfaktor, som normalt $\leq 1,0$.

Koefficienten k varierar med grödans utvecklingsstadium, främst med dess täckningsgrad av markytan, färg och ytstruktur. Doorenbos & Kassam (1979) redovisar k -värden för 25 mer eller mindre vanliga grödor i världens jordbruk. Erbenbeck (1982) har angett värden för några i Norden odlade grödor.

4. Aktuell eller verklig evapotranspiration, E = aktuell (verklig) avdunstning från mark och bestånd.

$$E \leq E_{max} \quad (5)$$

E bestäms av väderlek/klimat (E_p), av egenskaper hos mark och/eller bestånd samt av vattentillgång/vattentillflöde.

En principbild över avdunstningen under vegetationsperioden från olika typer av ytan ges i fig.1. Diagrammet i figuren illustrerar också skillnaderna mellan olika avdunstningsbegrepp.

Bilden i fig.1 blir i stort sett densamma för växlande väderleksförhållanden, om man längs den vertikala axeln avsätter värden på kvoten E/E_p eller E/E_T . Kurvorna 4 och 5 kommer då att illustrera E_{\max}/E_p eller E_{\max}/E_T . Relationen mellan linjerna/kurvorna kan emellertid då bli något annorlunda än i figuren beroende på olika relativ inverkan av skilda meteorologiska faktorer på olika ytor och i olika skeden.

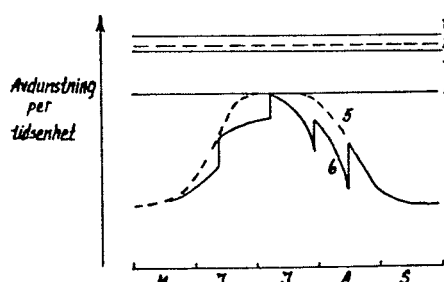


Fig.1. Principbild över avdunstning/evapotranspiration under vegetationsperioden från olika ytor. Förutsättning: Lika väderlek alla dagar.

1. Avdunstningsmätare med fri vattenyta fritt placerad ovanför mark/bestånd
2. Fri vattenyta
3. Bar ständigt fuktig markyta
4. Växande grön gräsmatta centralt belägen i en stor gräsyta och välförsörjd med vatten.
5. Vårsäd välförsörjd med vatten. Torr eller relativt torr markyta.
6. Vårsäd tidvis ej välförsörjd med vatten. Torr eller relativt torr markyta.

I fig.2 illustreras hur kvoten E_{\max}/E_p i princip förändras under vegetationsperioden för vall, vårsäd och potatis.

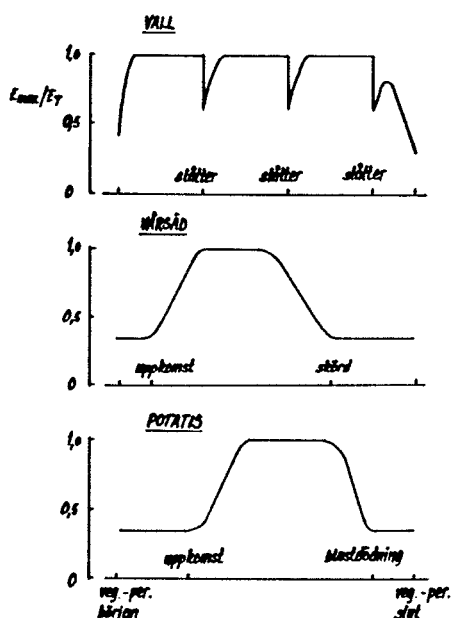


Fig.2. Kvot E_{\max}/E_p för vall, vårsäd och potatis. Principbild. Förutsättning: Torr eller relativt torr markyta.

Inverkan av fuktighetsförhållanden m.m. i rotzonen på vattenupptagning och evapotranspiration.

Att transpirationen hos en växt eller gröda i regel avtar när vatteninnehållet i rotzonen minskar (vattnets bindningstryck ökar) från ett fältkapacitets- eller dräneringsjämviktswärde till vissningsgränsen, synes numera vara allmänt accepterat. Sambandet mellan transpiration och markfuktighet beror dock bl.a. av jordens textur och struktur, gröda och rottöthet samt, i hög grad, av de meteorologiska betingelserna.

Ett klassiskt exempel på väderlekens inverkan utgör de resultat (fig.3) som Denmead & Shaw (1962) redovisat från försök med majs i lysimetrar (diameter 45 cm, djup 60 cm). Jordarten var en mjälig mellanlera (silty clay loam).

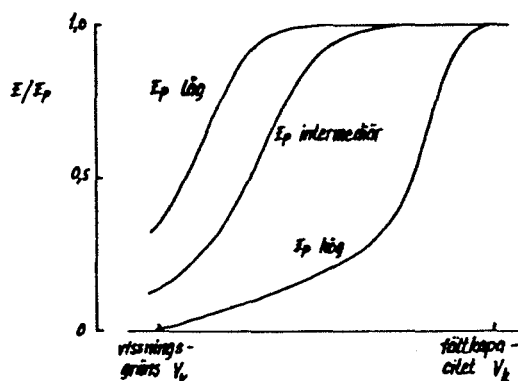


Fig.3. Kvot E/E_p mellan verklig evapotranspiration E och potentiell evaporation E_p som funktion av mängden växttillgängligt vatten i rotzonen vid tre värden på E_p . Från Denmead & Shaw (1962) ($E_p = E$ vid fältkapacitet).

Denmead & Shaw's (1962) försök visar att vid lågt värde på E_p (= svalt och fuktigt väder) har transpirationsströmmen kunnat bibehållas på samma nivå tills i närheten av vissningsgränsen. Vid högt värde på E_p (= varmt och torrt väder) har däremot transpirationen börjat reduceras redan strax under fältkapacitetsvärdet. Indirekt framgår av figuren att transpirationen vid en viss markfuktighet kan vara högre vid fuktigt väder än vid torrt.

För en lättare jord, med större andel av det växttillgängliga vattnet lösare bundet än i en mellanlera, kan man räkna med att uttorkningen kan gå relativt längre än i fig.3 innan transpirationen börjar begränsas.

Ju flera aktiva rötter som genomväver rotzonen, desto kortare blir medelavståndet för vattentransport och desto längre kan uttorkningen gå innan transpirationen börjar begränsas. Skillnaden i rottöthet påverkar därför samband sådana som i fig.3. Ett exempel ges i fig.4.

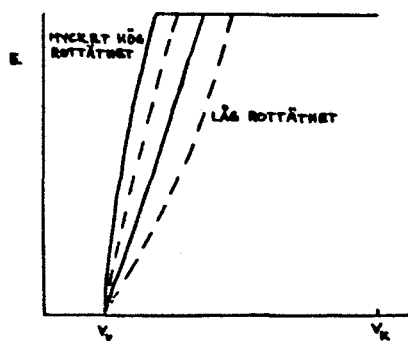


Fig 4. Verklig evapotranspiration E vid konstant potentiell evaporation som funktion av rotzonens vatteninnehåll vid olika rottäthet. Efter resultat från teoretisk analys av Cowan (1965).

Ensidigare driftsformer och förändrad maskinteknik har medfört att en stor del av våra odlade jordar fått sämre struktur och fysikaliska egenskaper under de senaste årtiondena. Det gäller i första hand lerjordar och deras matjord. Detta bör bl.a. ha medfört sämre betingelser för rotutveckling, vatten- och näringsupptagning.

Försämras markens struktur finns därtill risk för att den biologiska vissningsgränsen ökar och att därför mängden åtkomligt vatten minskar. Resultat från markfysikaliska undersökningar under senare tid pekar på en sådan förändring på en del lerjordar. Ett illustrativt exempel på hur skrymdensitet (täthet, packningsgrad) och struktur (aggregatstorlek) inverkar på den biologiska vissningsgränsens storlek ges i fig.5. Den horisontella delen för varje kurva och dess streckade förlängning svarar mot den fysikaliska vissningsgränsen (150 m vp).

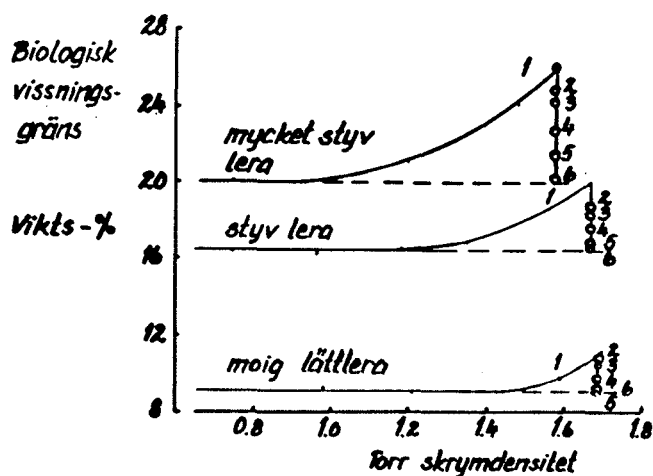


Fig.5. Inverkan av skrymdensitet (täthet) och aggregatstorlek på den biologiska vissningsgränsen. Från Wiklert (1964).

1. Hel jordpropp. Höjd 10 cm, diameter 7 cm, volym 385 cm^3 .
2. Vertikalt delad propp. Två lika delar (aggregat). Volym/aggregat: 192 cm^3 .
3. Vertikalt och horisontellt delad propp. Fyra lika aggregat. Volym/aggregat: 96 cm^3 .
4. Två vertikala och två horisontella snitt. 12 lika aggregat. Volym/aggregat: 32 cm^3 .
5. Tre vertikala och tre horisontella snitt. 24 lika aggregat. Volym/aggregat: 16 cm^3 .
6. Fyra vertikala och fyra horisontella snitt. 40 lika aggregat. Volym/aggregat: 10 cm^3 .

Avdunstningen från bar markyta varierar med jordens ledningsförmåga för vatten (vatteninnehållet) och med väderleksförhållandena. Fig.6 ger exempel på hur kvoten mellan verklig avdunstning E och potentiell evaporation E_p beror av markens vatteninnehåll för två jordarter. Liknande samband har redovisats av andra författare. Ett typiskt fenomen är att den relativa avdunstningen E/E_p minskar starkt inom ett ganska smalt vattenhaltsområde. Det gäller särskilt för lätta jordar. E/E_p för bar mark synes vidare inte påverkas lika starkt av skillnader i väderleksförhållanden (differenser i E_p) som den relativa vattenavgången från växande bestånd (fig.3).

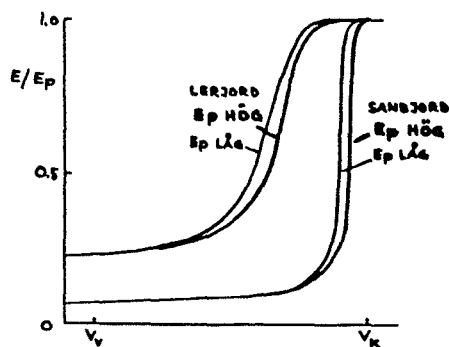


Fig.6. Kvot E/E_p mellan verklig avdunstning E från bar mark och potentiell evaporation E_p som funktion av markens vatteninnehåll vid två värden på E_p . Efter Holmes & Robertson (1962).

Jordar med stort inslag av finmo och/eller grovmjåla och därför med god ledningsförmåga i omättat tillstånd bör ge samband som ligger till vänster om lerjordens i fig.6.

Evapotranspiration och växtproduktion

Det råder ett nära samband mellan utflödet av vattenånga genom klyvöppningarna hos växter och inflödet av koldioxid. En begränsning av transpirationen medför en reducering av koldioxidintaget och därmed av fotosyntesen

och tillväxten. Teoretiskt bör det därför finnas en stark korrelation mellan vegetativ tillväxt under en period och kvoten E/E_p för perioden ifråga. Detta har också bekräftats i en rad försök och undersökningar bl.a. av Johansson (1974) och Linnér (1984).

Kvoten E/E_p kan således betraktas och användas som ett tillväxtindex. Den kan också användas som ett mått på betingelserna för grödors vattenförsörjning t.ex. vid analys av kväveeffekter. Exempel härpå har getts av Kyllingsbaek & Simmelsgaard (1986).

Det skall dock understrykas att man inte kan räkna med någon starkare korrelation mellan tillväxt eller avkastning och E/E_p , om bördighets- och gödslingsnivån är olika, om grödan avgripes av sjukdomar eller skadedjur eller om andra faktorer såsom t.ex. baljväxtandelen i vall, liggsäd eller dåligt skördeväder påverkar grödan.

Eftersom vattenavgången från ett växande bestånd, som mer eller mindre helt täcker markytan, i stort sett endast beror av väderleken och av fuktighetsförhållandena i rotzonen, så är evapotranspirationen per ytenhet i stort sett oberoende av hur bra eller dålig grödan är. Experimentellt belägg för detta ges i tabell 1.

Tabell 1. Evapotranspiration vid olika kvävegivor. Från Kjellerup (1983) och Simmelsgaard (1985).

	kvävenivå		
	0 N	1 N	1½ N
	= normal		
<hr/>			
<u>Mullrik sandig mo</u> ¹⁾ ; korn, 2 år	klöver-gräsvall,	korn	
N-gödsling, kg/ha	0	179	268
Medelskörd torrs., dt/ha	57.1	89.8	99.4
Evapotranspiration, mm	391	392	397
<u>Mullhaltig moig lättlera</u> ²⁾ ; korn, 2 år	rödsvingelvall,	höstvete	
N-gödsling, kg/ha	0	118	176
Medelskörd torrs., dt/ha	30.1	82.3	79.7
Evapotranspiration, mm	358	367	379

1) 60 cm effektivt rotdjup - 110 mm tillgängligt vatten

2) 100 cm "- - 160 mm "-

Den genomsnittligt något ökade evapotranspirationen för stigande kvävegivare och skördar kan vara en följd av ett något djupare och bättre utvecklat

rotsystem.

Vad nyss sagts och exemplifierats innebär att produktionen per enhet vatten ökar med stigande avkastning. Åtgärder som bidrar till högre skörd per ytenhet, såsom en allsidig näringstillgång, medför således ökad växtproduktion per enhet förbrukat vatten. Se fig. 7! I vårt klimat är produktionen per enhet förbrukat vatten genom evapotranspiration normalt större än inom varmare och torrare områden.

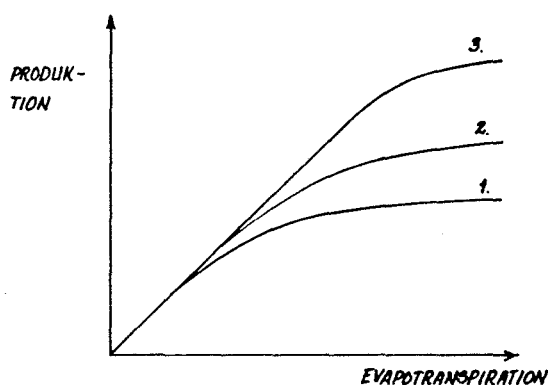


Fig. 7. Samband mellan evapotranspiration och växtproduktion vid tre bördighets- eller växtnäringsnivåer. 1 = lägst, 3 = högst nivå. Från Irrigation, drainage och salinity (1973).

Anpassning av vattenmängder och intensitet vid bevattning

En hög nyttjandegrad av tillfört vatten och en hög produktion per enhet vatten förutsätter en god anpassning av bevattningen med hänsyn till grödans vattenbehov, till markens egenskaper som vattenhållande och vattenledande system samt till väderleken, helst till de närmaste kommande dagarnas eller den närmaste veckans. Några problem främst rörande markens egenskaper skall här tas upp.

Ytavrinning bör undvikas. Intensiteten vid vattentillförsel bör därför ej överstiga markens infiltrerbarhet (infiltrationskapacitet). I en någorlunda homogen jord rör sig det vatten som tränger ner i marken, nedåt både under och efter bevattningen. Nedträngningsförloppet kan pågå i flera dygn men är vanligen i stort sett avslutat inom ett par dygn vid normala bevattningsmängder. En för låg bevattningssgiva med hänsyn till den aktuella kapaciteten att kvarhålla vatten i rotzonen medför att hela kapaciteten inte blir utnyttjad. En för låg vattengiva kan också medföra risk för relativt stora förluster genom avdunstning direkt från markytan samt, speciellt på sandjordar, långsam nedträngning och risk för syrebrist. Tillförsel av för stor vattenmängd med hänsyn till kapacitetsutrymmet innebär att en del vatten med näringsämnen kommer att rinna av från rotzonen.

Under torrperioder kan uttorkningen i markens övre del gå längre än till vissningsgränsen genom avdunstning från markytan. Denna uttorkning kan bli störst på jordar med hög vissningsgräns. Andersson & Wiklert (1960) har flera exempel från lerjordar vid Ultuna, där vissningsgränsen underskridits med 10-20 mm efter en torrperiod. I fig.8 ges ett exempel från egna undersökningar. Bevattning på denna plats den 11 augusti 1959 skulle ha medfört att 29 mm av tillfört vatten blivit så hårt bundet att det ej kunnat utnyttjas av grödan. Uttorkningen före bevattning bör ej tillåtas gå längre än till vissningsgränsen i någon del av rotzonen. Den streckade kurvan i fig.8. utgör en sådan nedre gräns.

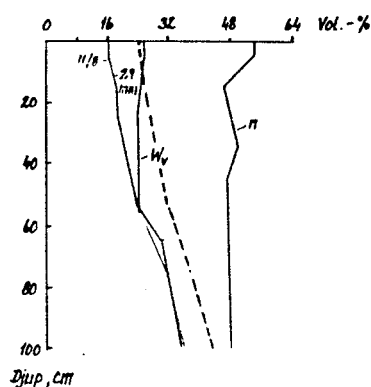


Fig.8. Upptorkning längre än till vissningsgränsen. Exempel från betesvall på styv lera. n = porositet, w_v = biologisk vissningsgräns.

Det är sällan möjligt att i vårt klimat helt undvika ökad avrinning från rotzonen under vegetationsperioden vid bevattning även vid bästa anpassning av bevattningstidpunkter och - mängder till mark, gröda och väderlek. I första hand beror detta på regn en kort tid efter bevattningstillfällen. Ojämn spridning och ojämnheter i markegenskaper kan också bidra till ökad avrinning.

I tabell 2 redovisas resultat från simulering rörande bl.a. avrinning i samband med bevattning för olika magasin för växttillgängligt vatten och tre grödor. Medelbevattningen per år var 198-108 mm för vall, 128-62 mm för potatis och 80-38 mm för vårsäd.

Tabell 2. Genomsnittlig avrinning per bevattning. Uppsala 1931-60. Efter beräkningar av Johansson (1974).

	<u>Magasin, mm, för växttillgängligt vatten</u>			
	30	45	75	120
Bev. mm/gång	20	30	50	60
<u>Procentuell avrinning</u>				
Vall	16	16	19	18
Potatis	21	23	20	27
Vårsäd	12	13	13	23

Resultaten i tabell 2 visar att den procentuella avrinningen per bevattning i genomsnitt

- blir minst för den gröda (vårsäd), som vattnas under vår/försommar/högsommar, då medelnederbörden är lägst,
- blir störst för grödor, vilka som t.ex. potatis, vattnas under eftersommaren och förhösten, då nederbörden är större och den potentiella evaporationen lägre,
- är relativt lite beroende av storleken på magasinen för växttillgängligt vatten.

Bennetzen (1978) och Jørgensen (1979) redovisar avrinningsförluster i samband med bevattning av samma storleksordning som i tabell 2.

Avdunstningen direkt från markytan, då denna ej är mer eller mindre helt täckt av gröda, kan bli relativt stor, särskilt på jordar med stort inslag av mo och mjåla. Sådana vattenförluster kan starkt försämra betingelserna för groning och för de unga plantornas tillväxt. I försök med vårsäd i lysimetrar med jord i ostörd lagring (höjd 40 cm, diameter 30 cm), som genomförts vid avdelningen för hydroteknik, har avdunstningen direkt från markytan på våren reducerats med upp till ca 10 mm vid höjning av multhalten från 2-3 % till 4-5 % i ytskiktet (ca 3 cm) samt med upp till 25 mm vid halmtäckning med ca 3 000 kg/ha. Det är min uppfattning att ökad uppmärksamhet bör ägnas problemen med avdunstning direkt från markytan vid bevattning.

Bevattningsstrategin för att nå hög produktion per enhet tillfört vatten och samtidigt minimera avrinningen och därmed näringsutlakningen från rotzonen bör vara följande

För vår - högsommar/varma och torra perioder

- Bevattning vid relativt ringa uttömning av rotzonens magasin för växttillgängligt vatten (rotzonsmagasinet).
- Vattenmängden per bevattning anpassas så att rotzonsmagasinet blir helt fyllt eller något överfyllt.

För eftersommar - höst/svala och fuktiga perioder

- Bevattning vid relativt långt gående uttömning av rotzonsmagasinet.
- Vattenmängden per bevattning anpassas så att rotzonsmagasinet ej blir helt fyllt.

Referenser

- Andersson, S. & Wiklert, P. 1960. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XI. Studier av några markprofiler på Ultuna egendom. Grundförbättring 12. Specialnr 3, 195 s.
- Bennetzen, F. 1978. Vandbalance og kvaelstofbalance ved optimal planteproduktion, 3. Modeller og resultater. Tidsskr. Planteavl 82: 191-220.
- Cowan, I.R. 1965. Transport of water in the soil-plant-atmosphere system. J. appl. Ecol. 2, 221-239.
- Denmead, O.T. & Shaw, R.H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. Agron. J. 54, 385-390.
- Dooenbos, J. & Kassam, A.H. 1979. Yield responses to water. FAO Irrigation and drainage paper 33, 182 s.
- Erpenbeck, J.M. 1982. Irrigation scheduling. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 127, 135 s.
- Hillel, D. 1980. Applications of Soil Physics. Academic Press. N.Y., 385 s.
- Holmes, R.M. & Robertson, G.W. 1959. A modulated soil moisture budget. Mon. Weath. Rev. Wash. 87, 101-105.
- Irrigation, drainage and salinity 1973. An international sourcebook. FAO/Unesco, 510 s.
- Johansson, W. 1974. Metod för beräkning av vatteninnehåll och vattenomsättning i odlad jord med ledning av meteorologiska data. Grundförbättring 26, 57-153.
- Jørgensen, V. 1979. Planternes vandforbrug, klimaforhold og planteproduktion. Tidsskr. Planteavl 83, 287-304.
- Kjellerup, V. 1983. Kvaelstofgødskningens indflydelse på draenvandets indhold af nitratkvaelstof 1973-81. Statens Planteavlsforsøg 85, Meddelelse nr. 1736, 4 s.

- Kyllingsbaek, A. & Simmelsgaard, S.E. 1986. Kvaelstofudnyttelse og kvaelstof-tab på sandjord. Tidsskr. Planteavl. Specialserie. Beretning nr. S 1853.
- Linnér, H. 1984. Markfuktighetens inflytande på evapotranspiration, tillväxt, näringsupptagning, avkastning och kvalitet hos potatis. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 142, 153 s.
- Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. Ser. A 193, 120-145.
- Simmelsgaard, S.E. 1985. Vandbalance og kvaelstofudvaskning på 4 jordtyper. II. Vandbalance, actual fordampning og afstrømning til draen og undergrund. Tidsskr. Planteavl 89, 117-131.
- Wiklert, P. 1964. Studier av vissningsgränsen. Grundförbättring 17, 1-100.

V. Overgaard Mogensen
Institut for Kulturteknik og Planteernæring
Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole
Agrovej 10, DK-2630 Taastrup

FØLSOMME STADIER FOR VANDSTRESS HOS FORSKELLIGE AFGRØDER

I mange vandingsforsøg og i mange modeller vedrørende planteproduktion og vandforsyning, eller vandforbrug, antages afgrødernes følsomhed overfor vandstress at være ens gennem hele udviklingsforløbet.

Der foreligger efterhånden en del resultater for forskellige afgrøder, der viser, at tørkefølsomheden afhænger af afgrødens udvikling. For en del afgrøder påvirkes afgrødens struktur og kvalitet mere end selve tørstofudbyttet.

Ved Institut for Kulturteknik og Planteernæring ved Landbohøjskolen i Danmark er der foretaget undersøgelser i græs, vårbyg, vårhvede og kartofler. Nærværende artikel bygger i væsentlig grad på resultaterne fra disse undersøgelser.

Det skal indledningsvis bemærkes, at for både efterårssåede og forårssåede afgrøder er rodzonekapaciteten tiltagende i løbet af sommeren, efterhånden som roddybde og rodtæthed tiltager. Under markforhold udløses vandstress hos planterne derfor ved et mindre deficit i rodzonen tidligt i vækstsæsonen end senere. Tørke på et så tidligt tidspunkt, at spiring af frøene påvirkes, kan forårsage betydelige udbyttetab, men skal ikke omtales yderligere her.

Er en afgrødes vandforsyning tilstrækkelig til, at dens vækst og udvikling ikke hæmmes, lider den ikke af vandmangel eller vandstress, og yderlig forbedring af dens vandforsyning er ikke nødvendig. Den skade en afgrøde lider under tørke afhænger både af, hvor kraftig et vandstress den udsættes for, og i hvor lang tid tørken varer.

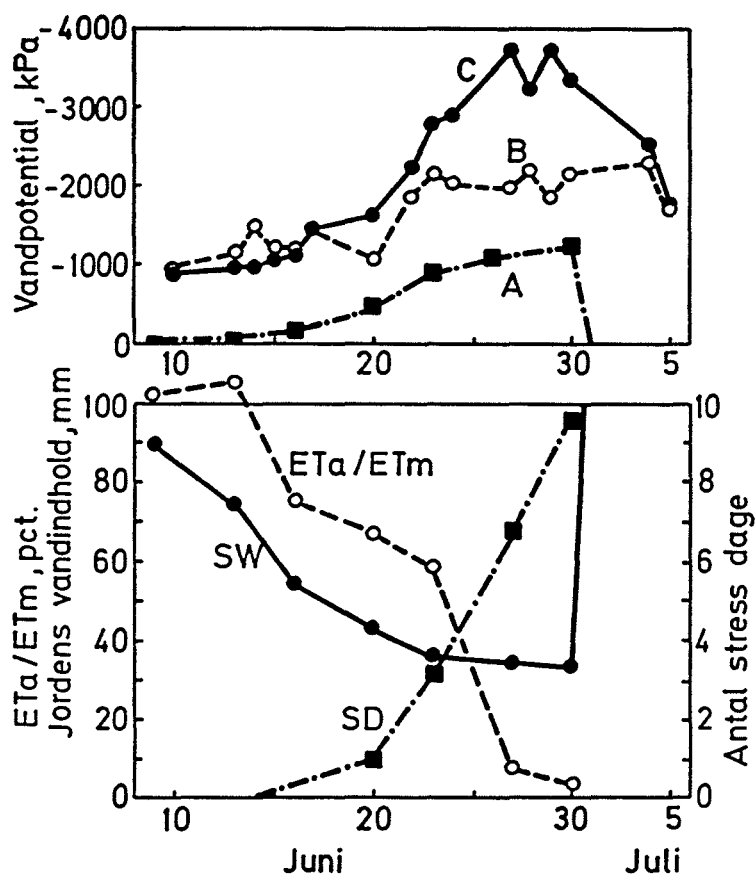
Da der ikke findes et entydigt kvantitativt udtryk for vandstress, er det vanskeligt at afgøre, om kraftig kortvarig stress skader mere end svag langvarig stress, eller omvendt.

Når der arbejdes under markforhold, kræver brugbare stressmålinger på planterne en stor arbejdsindsats og kan derfor kun gennemføres i forbindelse med specielle undersøgelser. Det skyldes store jordbundsvariationer i vandforsyningen på det samme areal, og store variationer med tiden, indenfor korte tidsintervaller, fra ½ time og ned til få minutter. Der kræves derfor et så stort antal målinger, at de for praktiske formål normalt ikke lader sig gennemføre.

Udvikling af vandstress under markforhold

Under markforhold må der anvendes målemetoder, der i større eller mindre udstrækning integrerer over tid og areal, eller måler på et emne med så stor konservatisme, at store korttidsvariationer undgås.

Som eksempel på udviklingen af tørke i en afgrøde anvendes en bygafgrøde ved skridningens begyndelse. Dette er i fig. 1 vist med forskellige parametre. I forhold til bladvandspotential af den optimalt vandede afgrøde begyndte bladvandspotential af den udtørrede afgrøde at falde 18. juni ved et vandindhold i jorden på 50 mm, hvilket svarer til et jordvandspotential på -200 kPa (-2 bar). Den relative evapotranspiration, ET_a/ET_r , begyndte at falde ved et vandindhold i jorden på 65 mm svarende til et jordvandspotential på -100 kPa. Da jordens vandindhold ved markkapacitet og visnegrænsen var henholdsvis 130 og 30 mm, svarer det til, at denne bygafgrøde ved skridningens begyndelse kunne udnytte ca. $2/3$ af det plantetilgængelige vand uden nedgang i relativ evapotranspiration, (Mogensen 1980).



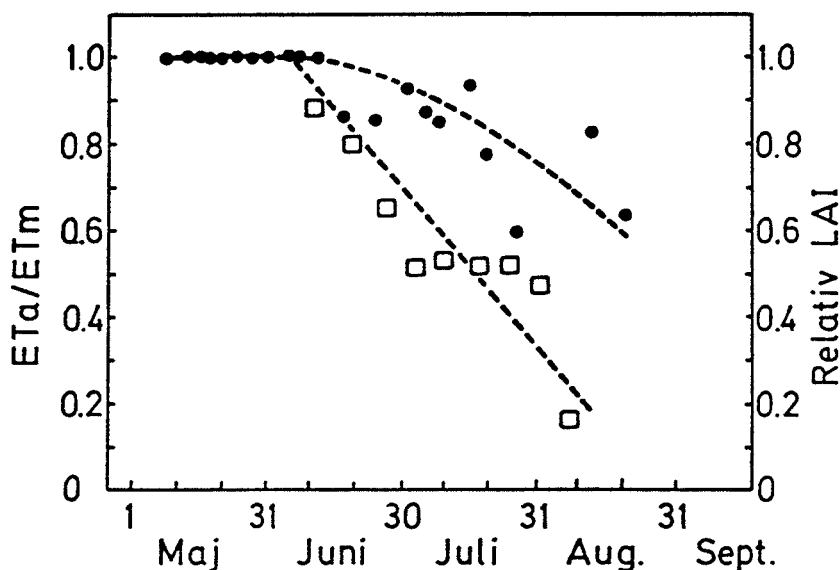
Figur 1: Eksempel på udvikling af tørke i vårbyg. A er jordvandspotential, B er bladvandspotential af optimalt vandet afgrøde, C er bladvandspotential af afgrøde med tiltagende vandstress. SW er jordens vandindhold og SD er antallet af stress dage. (Efter Mogensen 1980).

Mål for vandstress under markforhold

Da faldet i relativ evapotranspiration begyndte ved et højere indhold af vand i jorden end faldet i bladvandspotentialet gjorde, er det konkluderet, at relativ evapotranspiration er et følsommere udtryk for tørkestress, end bladvandspotentialet er.

Det resultat kan forklares ud fra eksistensen af et kritisk bladvandspotential (Denmead and Millar, 1976). De fandt, at ved et svagt vandstress under høj evapotranspiration falder ledningsevnen i bladet og dermed transpirationen til et sådant niveau, at bladvandspotentialet forhindres i at falde under det kritiske niveau.

Det er dog vist, at tilvæksten i bladareal reduceres tidligere end nedgang i transpirationen kan registreres, fig. 2. Det betyder at heller ikke relativ evapotranspiration er en tilstrækkelig følsom parameter til registrering af tørkestress under markforhold, (Imtiyaz et al. 1982).



Figur 2: Relativ evapotranspiration (punkter) og relativ bladarealindeks (kvadrater) hos vårhvede med tiltagende vandstress. Markforsøg 1979. (Efter Imtiyaz et al. 1982).

I undersøgelser, der er udført ved Institut for Kulturteknik og Planteernæring, er jordens vandindhold målt ved anvendelse af neutronspreddning. Evapotranspirationen er da beregnet ud fra disse målinger samt nedbør, vanding og afstrømning. Ud fra evapotranspirationen fra de enkelte forsøgsled kan relativ evapotranspiration, ET_a/ET_m , og relativ evapotranspirationsdeficit, $1 - ET_a/ET_m$, beregnes. (For definitioner, se ligning (1)).

Under en tørkeperiode er afgrødens vandstress tiltagende med jordens udtørring, fig. 1. For at integrere virkningen af det tiltagende vandstress over tiden beregnes antallet af stress dage af ligning (1).

$$SD = \int [(1 - ET_a/ET_m)_t] dt \quad (1)$$

hvor SD = antallet af stress dage.

ET_a = evapotranspirationen fra en given afgrøde.

ET_m = evapotranspirationen fra en tilsvarende afgrøde, der ikke på noget tidspunkt har været udsat for vandstress.

t = tiden.

Som parameter til beskrivelse af afgrøders vandstatus anvendes både jordens vandindhold, absolut og relativ evapotranspiration, samt relativ evapotranspirationsdeficit og antallet af stress dage. På figurerne 3 og 4 er tørkeperioderne karakteriseret ved angivelse af antallet af stress dage.

Reelt burde transpirationen indgå i stedet for evapotranspirationen, men under markforhold kan transpiration og evaporation ikke adskilles. Under forhold med lille bladareal kan anvendelse af evapotranspiration give anledning til betydelige fejl, især når jordoverfladen er våd. Med tiltagende bladareal bliver fejlen mindre.

Græs

I en græsmarkafgrøde er det afgrødens blad- og stængelmængde, der udnyttes, idet afhugning senest foretages ved begyndende blomstring. Vækstmæssigt holdes afgrøden således i den vegetative fase.

I forsøg med almindeligt rajgræs (*Lolium perenne*, L. cv. "Pax Øtofte S65") tilført 780 kg N/ha og optimal vandet blev der i første slæt fundet en vandudnyttelse på 71 kg græstørstof ha⁻¹ mm⁻¹, tabel 1, mod ca. 35 i de tre sidste slæt. Vandudnyttelsen afhænger af kvælstoftilførsel, tabel 2. Ved en kvælstoftilførsel på 780 kg N/ha var vandudnyttelsen for hele vækstperioden 40 kg tørstof ha⁻¹ mm⁻¹, men kun 12 ved en tilførsel på 24 kg N/ha.

Tabel 1. Tørstofproduktion og vandudnyttelse ved optimal vanding af almindeligt rajgræs 1976 (efter Jensen, 1980).

Slæt nr.	Slæt dato	Tørstof-udbytte, kg/ha	Vand-forbrug mm	Vand-udnyttelse kg/(ha mm)
1	31.5	4986	70	71
2	30.6	5857	127	46
3	4.8	5675	159	36
4	15.9	4589	146	31
5	25.10	1243	38	33

Tabel 2. Betydningen af kvælstoftilførslen på tørstofudbyttet og vandudnyttelsen i almindeligt rajgræs i hele vækstperioden (efter Jensen 1980).

kg N/ha	Tørstof kg/ha	kg tørstof/(ha mm)
780	22350	40
655	20890	38
530	19180	35
280	15640	30
24	6390	12

For alle kvælstofniveauer var vandudnyttelsen aftagende med tiden i vækstperioden. Det skyldes, at forholdet mellem respiration og bruttoproduktion øges med tiden, hvilket igen skyldes faseforskydningen mellem globalstråling og temperatur, d.v.s. at temperaturen i forhold til indstrålingen er højere i eftersommeren end i forsommeren (Jensen 1980).

Ovenstående resultater stammer fra parceller, der var velforsynet med vand i hele vækstperioden. Tilsvarende størrelsesorden af vandudnyttelse fandtes i parceller, der var udsat for tørke en del af vækstperioden (Jensen 1980).

Korn

En kornafgrødes vækst, udvikling og udbytte afhænger i høj grad af afgrødens vandforsyning. Rigelig vandtilførsel i forbindelse med stærk kvælstofgødskning forårsager kraftig vækst af blade og stængel med risiko for tidlig leje til følge.

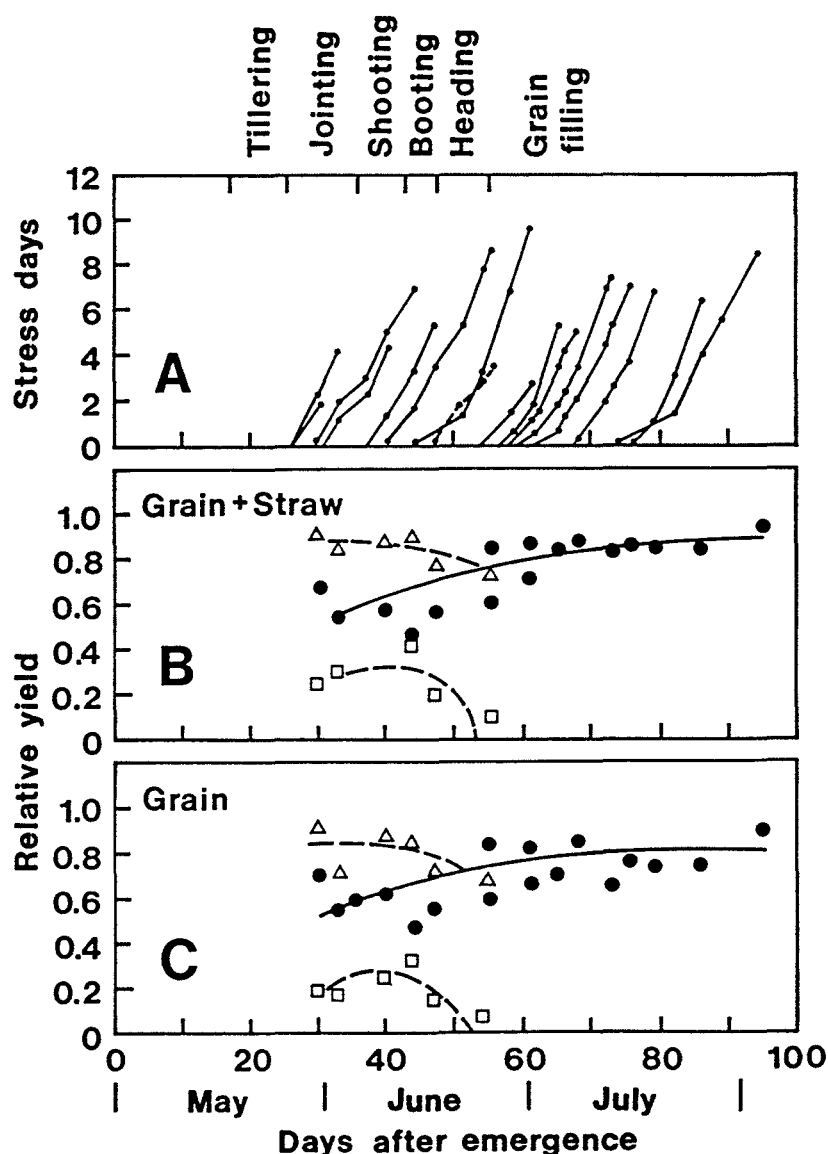
Betydningen af tørke for udvikling og udbytte af forskellige kornarter er undersøgt ved forskellige udviklingsstadier. Den generelle virkning er ens for alle kornarter og vil her blive illustreret med resultater fra vårhvede (*Triticum aestivum*, L. cv. "Sappo") og vårbyg (*Hordeum distichum*, L. cv. "Zitta").

I lysimeterforsøg på Højbakkegård i Tåstrup er udført undersøgelser over enkelte tørkeperioders virkning på udvikling og udbytte af vårbyg og vårhvede. Med undtagelse af referenceledet, der blev vandet optimalt hele vækstperioden, blev de forskellige forsøgsled hver påført en enkelt tørkeperiode. Tørkeperioderne, der påførtes de enkelte forsøgsled på forskellige tidspunkter, blev afsluttet, umiddelbart før det plante- tilgængelige vand var opbrugt.

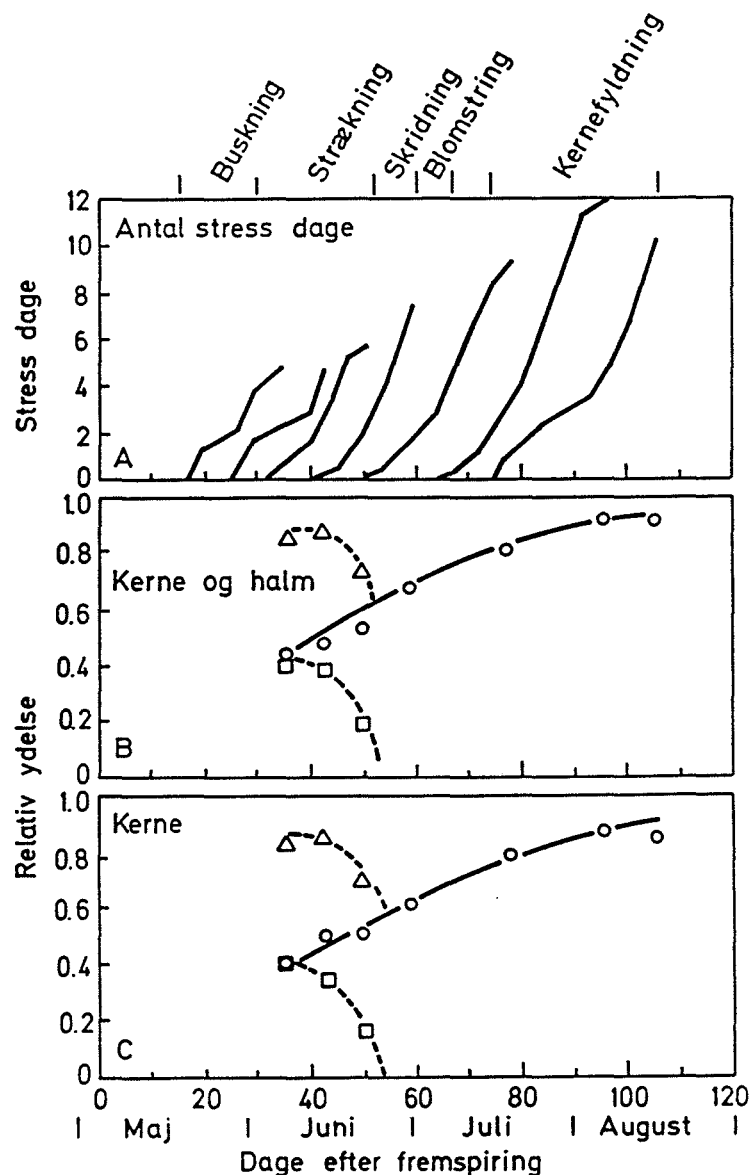
Tørke, der forekommer og afsluttes inden skridningens begyndelse, forårsager genvækst. De nye skud, (sene skud, grønskud), fremkommer efter skridningens afslutning. Jo tidligere i vækstperioden tørkeperioden forekommer, jo flere sene skud dannes. De sene skud modner ca. 2 uger senere end de normale skud, og forsinker således høsten i to uger. Dette kan besværliggøre høsten, forhøje risikoen for kernetab fra de normale skud og forøge tørringsomkostningerne.

Af fig. 3 og 4 fremgår det, at kerneudbyttet af de normale skud blev reduceret mest ved tidligt forekommende tørke. De sene skud har bidraget væsentligt til både halm- og kerneudbyttet. En del af den vækst, der tabtes under tørkeperioden, er således vundet igen ved en ca. to ugers forlængelse af vækstperioden.

Efter modning af de sene skud er udbyttereduktionen af samme størrelsesorden som for tørke på et senere tidspunkt. Tages den forsinkede høst i betragtning, hvilket i praksis kan medføre tab af kerner og forøgede høst- og tørringsomkostninger, må det konstateres, at tidlig forekommende tørke, d.v.s. før skridningen, normalt betyder større økonomisk tab end senere forekommende tørke.

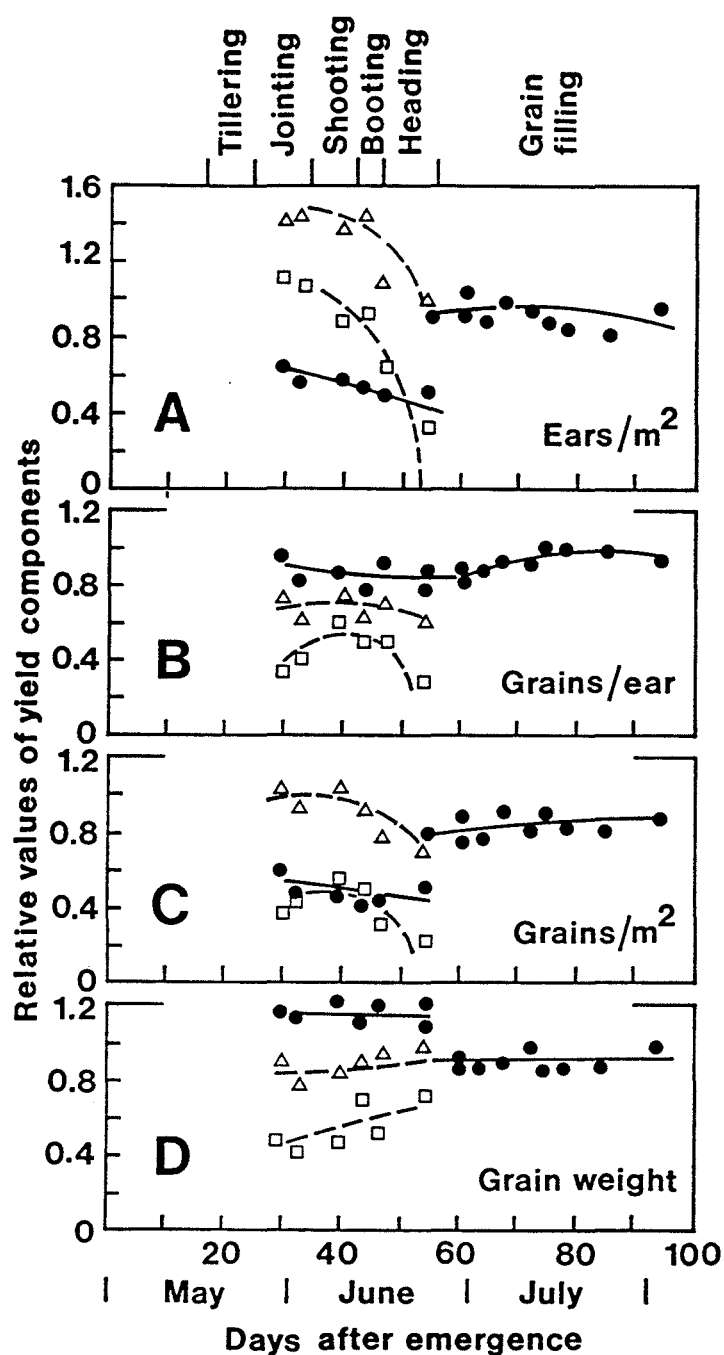


Figur 3: Antal stress dage i tørkeperioderne og relativ udbytte efter vandstress under forskellige udviklingsstadier. Punkterne er afsat på tidspunktet for tørkeperiodens afslutning. Udfyldte cirkler er normale skud, kvadrater er sene skud og trekanter er både normale og sene skud. Vårbyg i lysimetre 1977.



Figur 4: Antal stress dage i tørkeperioderne og relativ udbytte efter vandstress under forskellige udviklingsstadier. Punkterne er afsat på tidspunktet for tørkeperiodens afslutning. Cirkler er normale skud, kvadrater er sene skud og trekanter er både normale og sene skud. Vårhvede i lysimetre 1980. (Efter Mogensen et al. 1985).

En tørkeperiode omkring blomstring og skridning har forårsaget den største udbyttenedgang. Af fig. 5 og 6 fremgår det, at tørken på dette tidspunkt først og fremmest har reduceret antallet af aks/m² og i mindre grad antal kerner pr. aks. For hvede har kernevægten kun været lidt påvirket, dog med en tendens til store kerner efter tørke under skridningen, hvor der var få kerner. Hvor der i byggen var tørke før skridningen, var kernevægten større end for afgrøden uden tørke, fig. 5. Det skyldes, at der var relativ få kerner.



Figur 5: Relative værdier af ydelseskompontener efter vandstress på forskellige tidspunkter. Punkterne er afsat på tidspunktet for tørkeperiodens afslutning. Udfyldte cirkler er normale skud, kvadrater er sene skud og trekanter er både normale og sene skud. Vårbyg i lysimetre 1977.

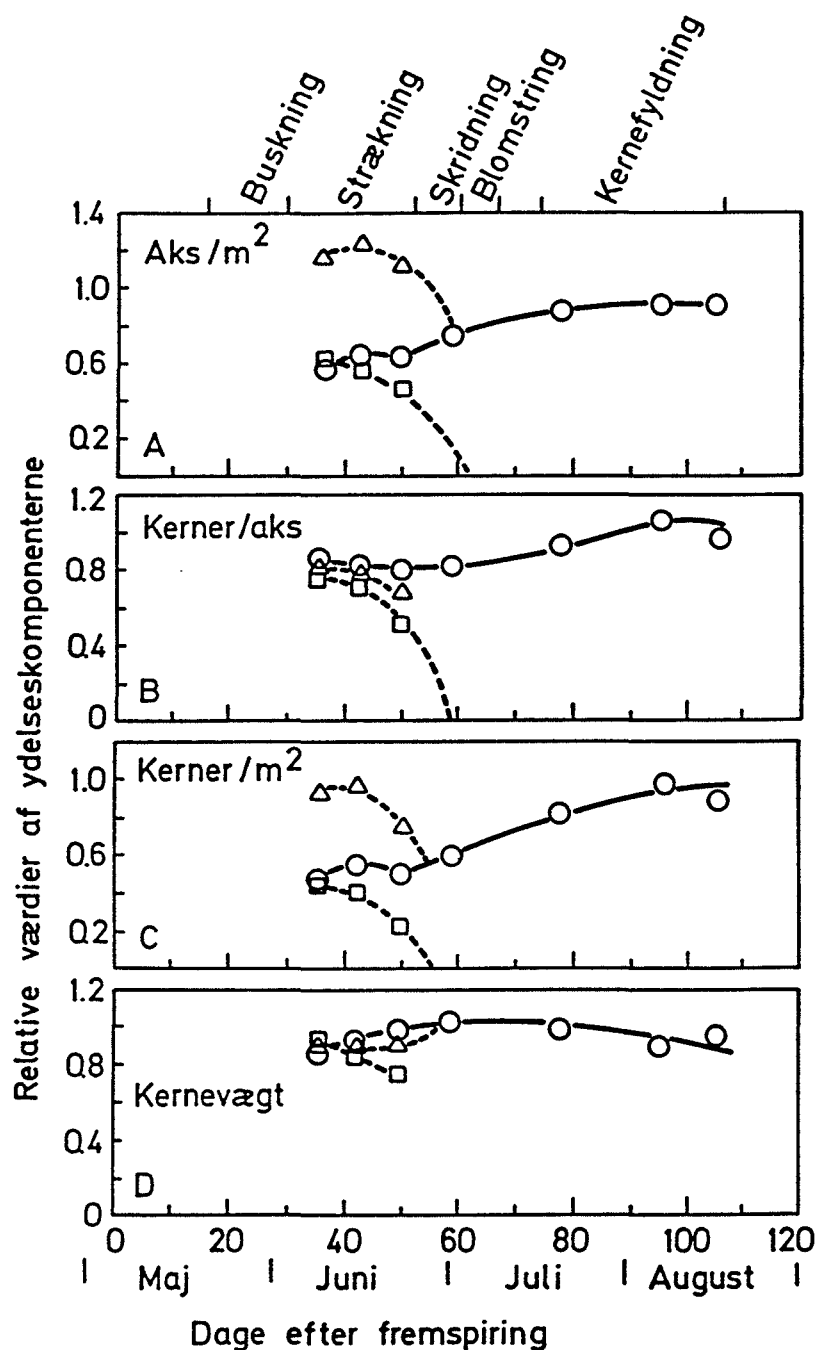


Fig. 6: Relative værdier af ydelseskomponenter efter vandstress på forskellige tidspunkter. Punkterne er afsat på tidspunktet for tørkeperiodens afslutning. Cirkler er normale skud, kvadrater er sene skud og trekanter er både normale og sene skud. Vårhvede i lysimetre 1980. (Efter Mogensen et al. 1985).

Efter tørke under den vegetative del af væksten er kernevæksten af byg vist i fig. 7. Den tidsmæssige forskydning mellem hovedskud, 1. sideskud og 2. sideskud og i særdeleshed de sene skud ses tydeligt.

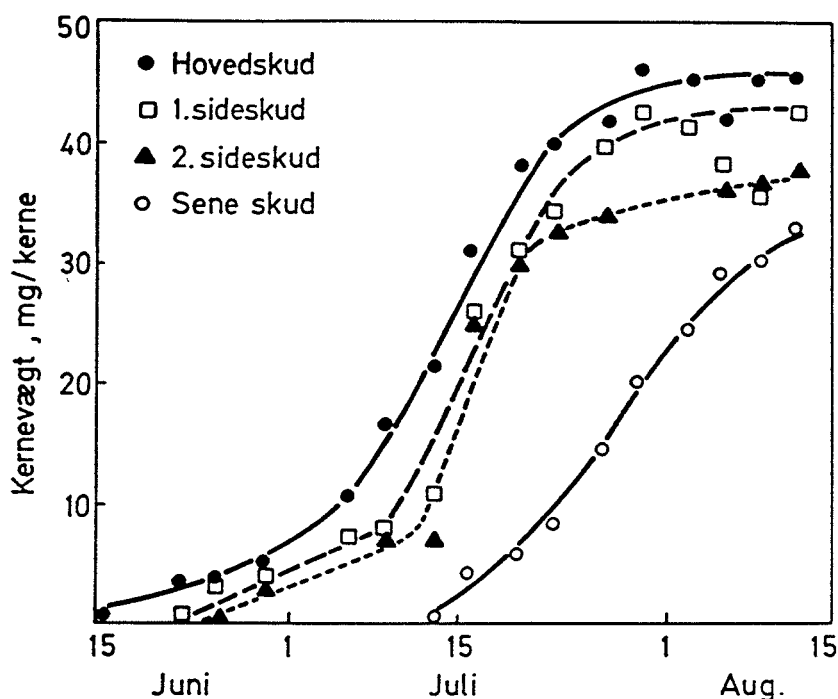


Fig. 7: Kernevæksten hos de enkelte skud hos vårbyg efter tørke under den vegetative vækst.

Det væsentlige bidrag til kerneydelsen, som skyldes de sene skud, fig. 3 og 4, er i form af små kerner, fig. 5–7, specielt for byg. For små kerner udgør skallerne en relativ større del end for store kerner. De små kerner fra de sene skud bidrager således til en kvalitetsforringelse af kerneudbyttet.

Efter tørke under blomstring (F) var kernevæksten hos vårhvede, $\text{mg kerne}^{-1} \text{dag}^{-1}$, større end for den fuldt vandede afgrøde (R), fig. 8 A. På grund af færre kerner var ydelsestilvæksten, $\text{g m}^{-2} \text{dag}^{-1}$, dog mindre, fig. 8B. For tørke under kernefyldningen (G) var både kernevæksten og ydelsestilvæksten større end for den fuldt vandede afgrøde indtil det plantetilgængelige vand var opbrugt, så standsede væksten, fig. 8. For den fuldt vandede afgrøde varede kernevækstperioden ca. 1 uge længere, hvorfor udbyttet blev større end for forsøgsledet med tørke under kernefyldningen.

Den større væksthastighed for tørke under kernefyldningen i forhold til den fuldt vandede afgrøde skyldes dels en højere translokering, dels at en større del af assimilaterne transporteres til kernerne og dels en højere afgrødetemperatur, (Mogensen 1985).

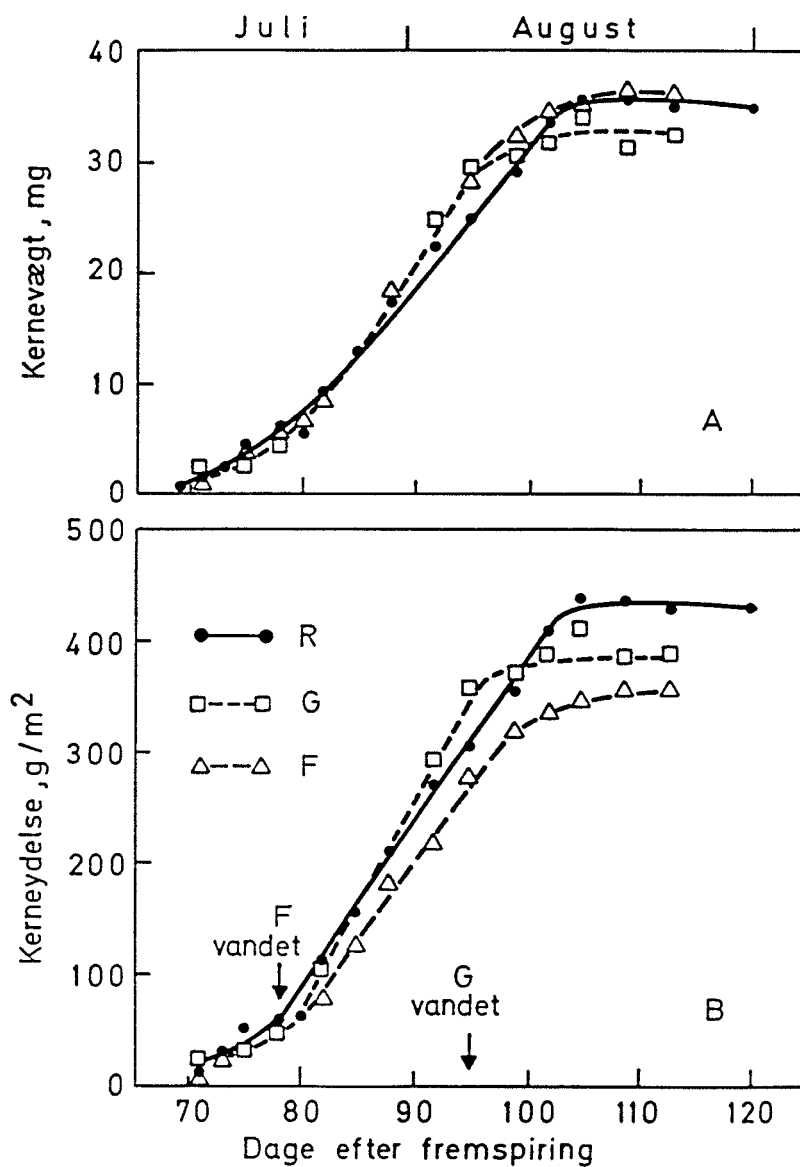


Fig. 8: Kernevægten af hovedskud (A) og kerneydelsen af hovedskud + første sideskud (B) af vårhvede. Begge dele som funktion af tiden. R er reference, G er tørke under kernefyldningen og F er tørke under blomstring. Pile angiver afslutning af tørke – perioden ved vanding. (Efter Mogensen 1985).

Under tørke påvirkes næringsstofoptagelsen. For vårbyg og vårhvede viser fig. 9 og 10 det relative indhold af nitrogen (N), kalium (K) og fosfor (P) ved høst. For alle tidspunkter for tørke var næringsstofoptagelsen reduceret. Efter tørke under den vegetative vækst er der sket en betydelig næringsstofoptagelse i de sene skud.

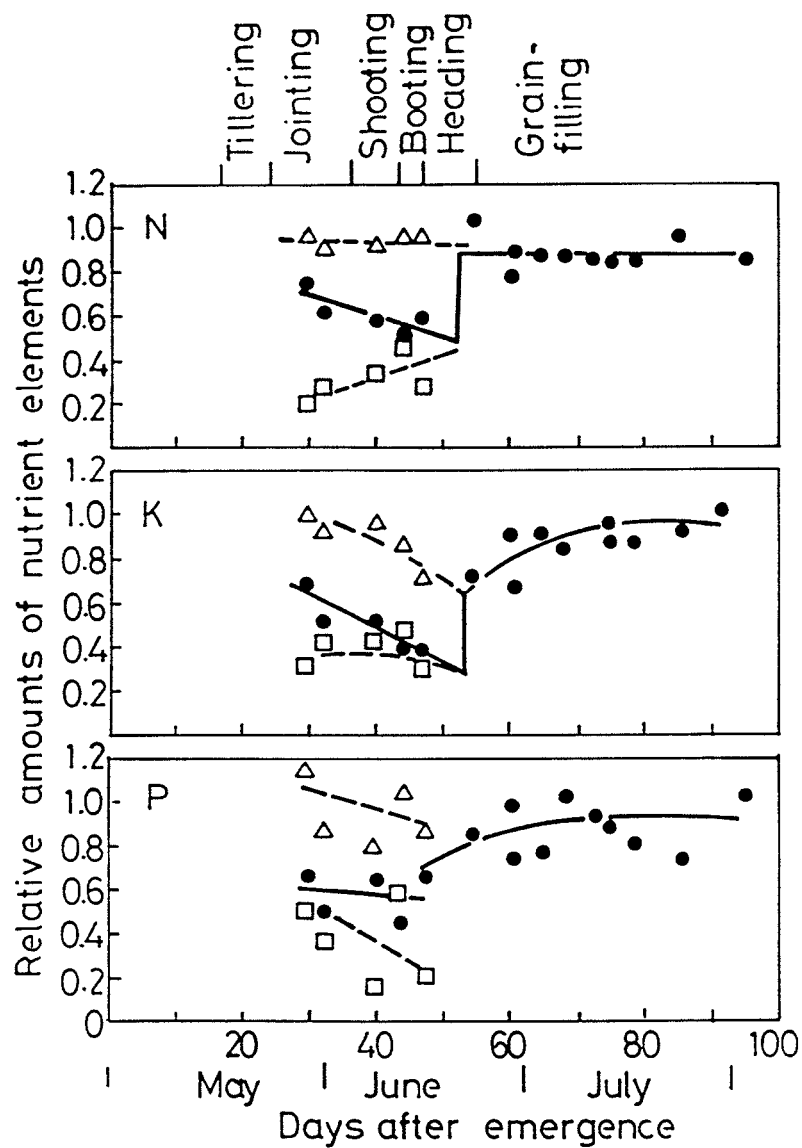


Fig. 9: Relative værdier af plantenæringsstofferne N, P og K høstet i kerne og strå af vårbyg som funktion af tidspunktet for afslutning af vandstress i de enkelte forsøgsled.

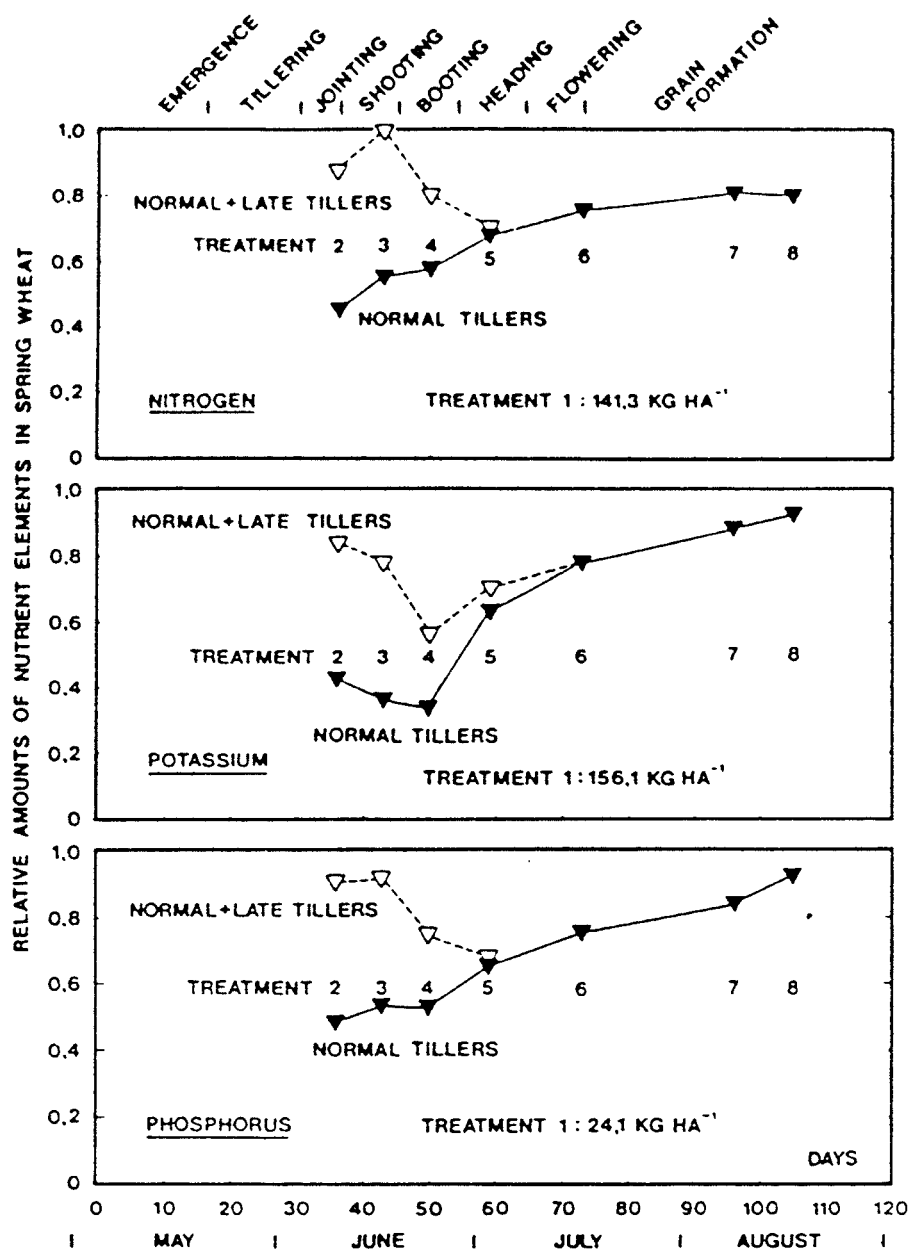


Fig. 10: Relative værdier af plantenæringsstofferne N, P og K høstet i kerne og strå af vårhvede som funktion af tidspunktet for afslutning af vandstress i de enkelte forsøgsled. (Efter Jensen og Mogensen 1984).

Kartofler

Ved dyrkning af kartofler (*Solanum tuberosum*, L.) er det de friske knolde, altså den reproduktive del af afgrøden, der anvendes. Det er almindelig kendt, at kartofler er særdeles tørkefølsomme. Tørke under knoldvæksten efterfulgt af nedbør, forårsager revnedannelse og genvækst af knoldene, hvilket nedsætter deres handelsværdi.

Kartofler er en afgrøde, hvor kvaliteten af udbyttet er en væsentlig økonomisk faktor. En kartoffelafgrødes tørkefølsomhed skal derfor vurderes på grundlag af både udbyttets størrelse og kvalitet.

Betydningen af tidspunktet for forekomst af tørke er undersøgt af Dragland (1978), Josefsen (1979) og Jørgensen (1984).

Tørke før begyndende knolddannelse (før midten af juni) forsinker knoldvæksten, men foregår optagningen i løbet af september synes udbyttet ikke påvirket. For sorter, der tages op før væksten er afsluttet, kan tidlig tørke medføre udbyttetab (Dragland 1978).

Tørke under knolddannelsen (sidste halvdel af juni) kan medføre et udbyttetab på 10–20%. Tørke under den første del af knoldvæksten (første 2–3 uger af juli) kan reducere udbyttet med op til 60%. Ved senere forekommende tørke er udbyttetabet mindre, fig. 11 og tabel 1. (Dragland 1978 og Josefsen 1979).

Tørke under knolddannelsen medfører at der dannes færre knolde, hvilket kan medføre, at en relativ mindre del af udbyttet findes i knoldstørrelserne 30–50 mm og en større del i størrelserne 50–60 og over 60 mm, (Jørgensen 1984).

Tørke under knoldvæksten reducerer knoldstørrelsen, så en større procentdel af knoldudbyttet forekommer i størrelserne 30–50 mm og en mindre del i størrelserne 50–60 mm og > 60 mm, tabel 3.

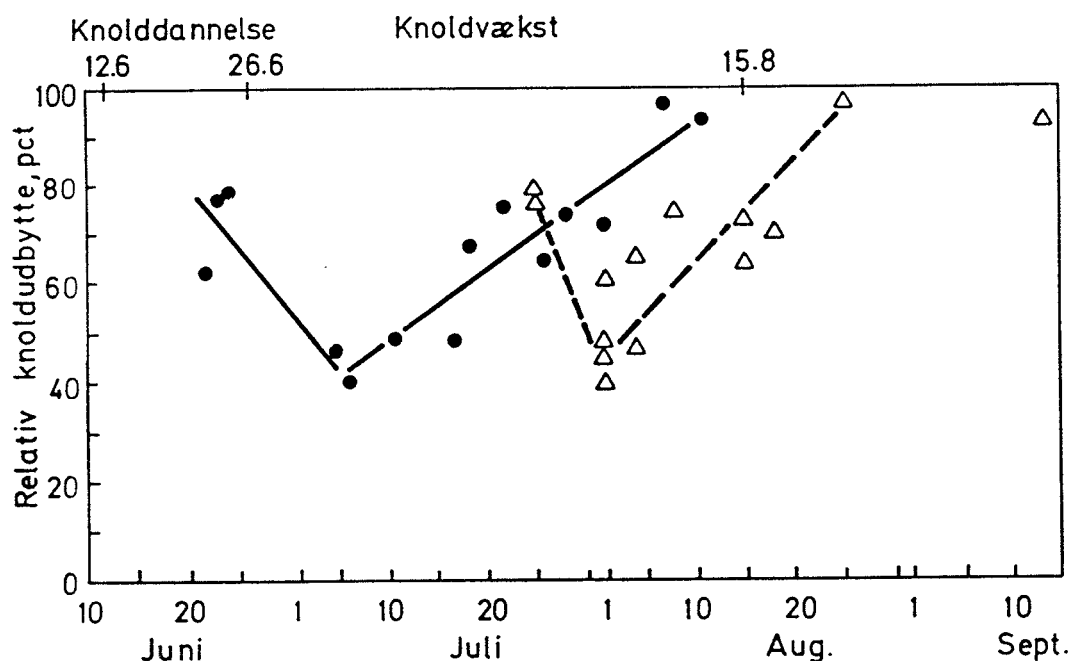


Fig. 11: Relativt knoldudbytte af Bintje kartofler i lysimetre 1978 i relation til tidspunkt for forekomst af vandstress. Punkter er i forhold til tørkeperiodens begyndelse, og trekkanter er i forhold til dens slutning. (Efter Josefsen 1979).

Tabel 3. Udbytte, hkg/ha, antal knolde pr. plante og knoldstørrelsesfordeling i vægt pct., ved tørke på forskellige udviklingsstadier af kartoffelsorten Bintje i 1978. (Efter Josefsen 1979).

Tidspunkt for tørke	Antal knolde	Udbytte	Knoldstørrelse, mm			
			<30	30–50	50–60	>60
1. Ingen tørke	17	586	4	36	46	14
2. Knolddannelse og første 4 uger under knoldvækst	19	436	6	57	30	7
3. 4 uger midt i knoldvækst- perioden	18	253	17	70	10	3
4. Sidste 3 uger af knoldvækst – perioden	20	390	7	69	21	3
5. Modning	20	533	4	57	26	13

2. Der forekom genvækst af næsten alle knolde, og ca. 25% af knoldene havde revnedannelser.

3. Der forekom genvækst af ca. 25% af knoldene, og 4% af knoldene havde revnedannelse.

1, 2, 3 og 4. Vanding efter at knoldene var udvokset fremmede angreb af rodfiltsvamp.

1, 2, 3 og 4. Ved rigelig vandforsyning frem til begyndelsen af juli hvor knoldvæksten var godt igang, forekom ingen angreb af skurv.

Ved tørke under knolddannelse og den første del af knoldvæksten forekommer revnedannelse og genvækst af knoldene, når vandforsyningen igen bedres.

Tørke under knolddannelsen fremmer angreb af skurv, hvorimod angreb af rodfiltsvamp synes at tiltage ved vanding efter, at knoldene er udvokset.

I forhold til intensiv vanding er der en forøget tendens til udkogning ved tørke under knolddannelsen, men mindre udkogning ved tørke under knoldvæksten. Tørke under knoldvæksten medfører øget mørkfarvning efter kogning.

Tørkefølsomhed

Der kan anvendes forskellige parametre som mål for tørkefølsomhed. I forsøget med græs referet her (Jensen 1980) er tørkefølsomheden vurderet ud fra vandudnyttelsen, der er forholdet mellem tørstofproduktionen og vandforbruget, som angivet ved ligning 2.

$$\text{Vandudnyttelse} = \frac{\text{Tørstofproduktion}}{\text{Transpireret vandmængde}} \quad (2)$$

Da den transpirerede vandmængde ofte ikke er kendt, anvendes andre angivelser, som oftest evapotranspirationen. En stor vandudnyttelse betyder stor udbyttenedgang ved vandstress og dermed stor tørkefølsomhed.

For vårbyg og vårhvede er udbytteparametrene angivet ved relative værdier, både med hensyn til ydelse, ydelseskompenerter og næringsstofoptagelse. Det betyder, at udbyttet af en given parameter af en afgrøde, der har været udsat for vandstress, relateres til den samme parameter af en tilsvarende afgrøde, der ikke har været udsat for vandstress, som udtrykt ved ligning (3).

$$RP = \frac{U_a}{U_m} \quad (3)$$

Hvor RP = Relativ parameter i dele af 1.

U_a = Den aktuelle værdi af den betragtede parameter af en afgrøde, der har været udsat for vandstress.

U_m = Værdien af den betragtede parameter af en afgrøde, der ikke på noget tidspunkt har været udsat for vandstress.

En stor værdi er her udtryk for lille tørkefølsomhed.

Ved anvendelse af relativ udbyttenedgang fås ligning (4).

$$F = 1 - U_a/U_m \quad (4)$$

hvor F = Tørkefølsomhedsfaktoren

Store værdier af F betyder stor tørkefølsomhed.

Både den absolutte og relative udbytteparameter og tørkefølsomhedsfaktoren kan sættes i relation til de parametre, der beskriver afgrødens vandstatus.

I de beskrevne forsøgsserier har tørkeperioderne ikke været ens, fig. 3A og 4A. For at kunne vurdere tørkefølsomheden på et ensartet grundlag er F/SD vist som funktion af tidspunktet for tørkens ophør, fig. 12 C og 13 C. Betragtes kun de normale skud, ses det, at tørkefølsomheden pr. stress dag (F/SD) aftager med tiden under den vegetative vækst og er konstant under kernefyldningen.

Betragtes både normale og sene skud, ses det, at F/SD for vårbyg er stort set ens i alle udviklingsstadier. For vårhveden er F/SD størst for tørke omkring skridningen, fig. 13 C. Ved den store tørkefølsomhed omkring skridningen var vandudnyttelsen lille, fig. 12 og 13 A og B. Dette kan dog ikke sammenlignes med vandudnyttelsen i græs, hvor vandudnyttelsen er beregnet for hvert slæt for sig. For vårbyg og vårhvede er den beregnet for hele vækstperioden.

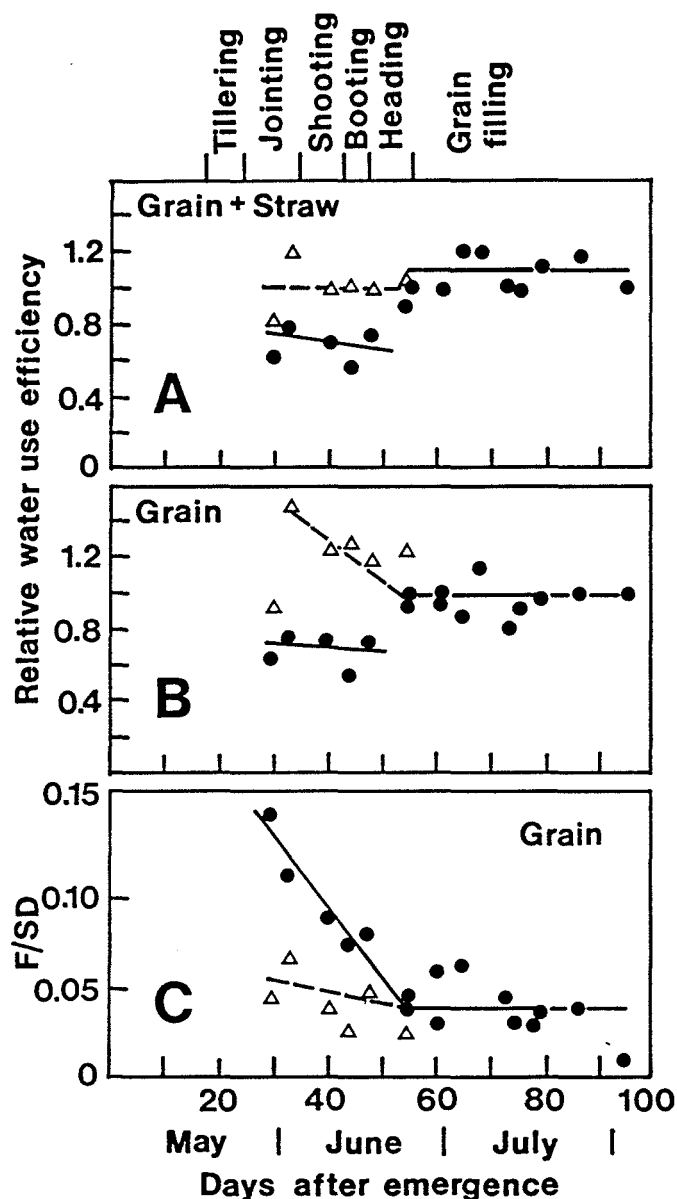


Fig. 12: Relativ vandudnyttelse og tørkefølsomhed efter vandstress under forskellige udviklingsstadier. Udfyldte cirkler er normale skud, trekanter er både normale og sene skud. F er relativ udbyttenedgang og SD er antal stress dage. Vårbyg i lysimetre 1977.

For vandstress under kernefyldningen er relativ kerneydelse af de normale skud hos byg en linear funktion af antallet af stress dage, linie I, fig. 14. På grund af at vandstress i kar nr. 17 ikke forekom før under modningen, indgår resultaterne fra dette kar ikke i regressionsanalysen. Hældningen af linie I er -0.038 , svarende til en udbyttenedgang på 3.8% pr. stress dag for begge år. For 1976 og 1977 var udbyttenedgangen henholdsvis 3.6 og 4.1% pr. stress dag.

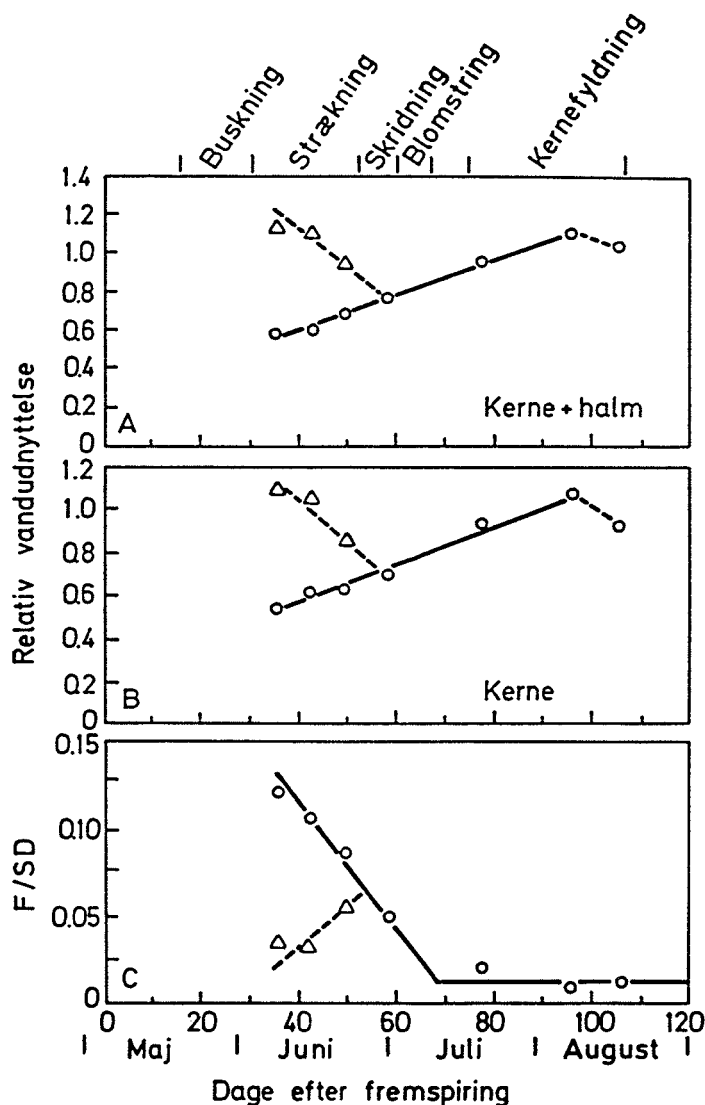


Fig. 13: Relativ vandudnyttelse og tørkefølsomhed efter vandstress under forskellige udviklingsstadier. Cirkler er normale skud, trekanter er både normale og sene skud. F er relativ udbyttenedgang og SD er antal stress dage. Vårhvede i lysimetre 1980. (Efter Mogensen et al. 1985).

På grund af aftagende tørkefølsomhed med tiden i den vegetative del af vækstperioden påvirker den valgte gruppeinddeling hældningskoefficienterne af linierne II og III i fig. 14.

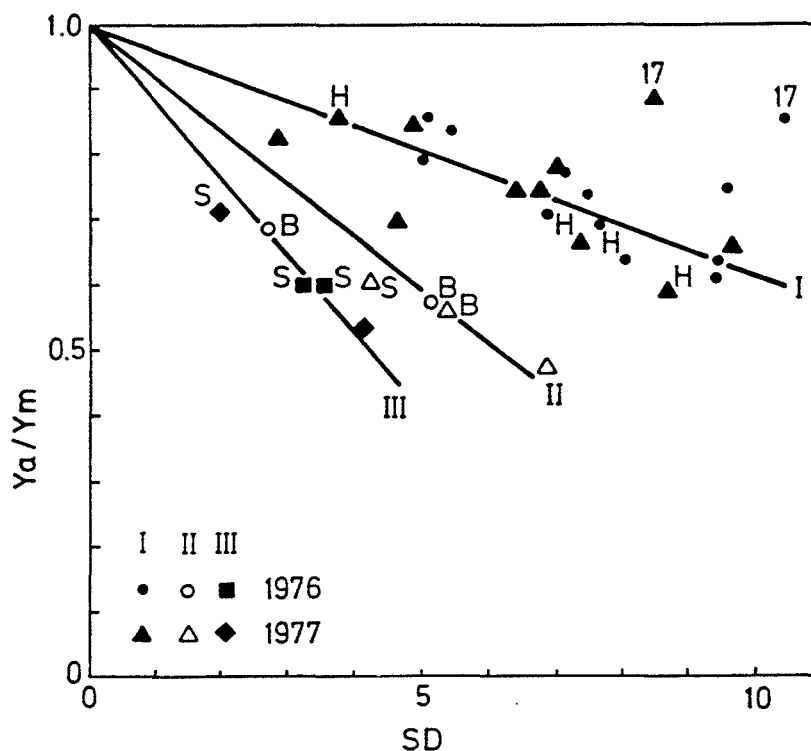


Fig 14: Relativ kerneudbytte, Y_a/Y_m , som funktion af antal stress dage (SD) i tørkeperioden. I, Tørke under skridning (H) og kernefyldningen, II vandstress under blomstring (B) og III tørke under strækningsvæksten (S). Vårbyg i lysimetre 1976 og 1977. (Efter Mogensen 1980).

Betragtes det relative kerneudbytte af både normale og sene skud for byg i 1977, er liniens hældning -0.041 , svarende til et udbyttetab på 4.1% pr. stress dag, fig. 15. Sammenholdt med udbyttenedgangen på 4.1% for de normale skud i 1977 har tørkefølsomheden været ens i hele vækstperioden. De mindre kerner fra de sene skud må dog betragtes som en kvalitetsforringelse, og den forsinkede høst kan under nordiske forhold bidrage til kvalitetsforringelse, kernetab og forøgede tørringsomkostninger.

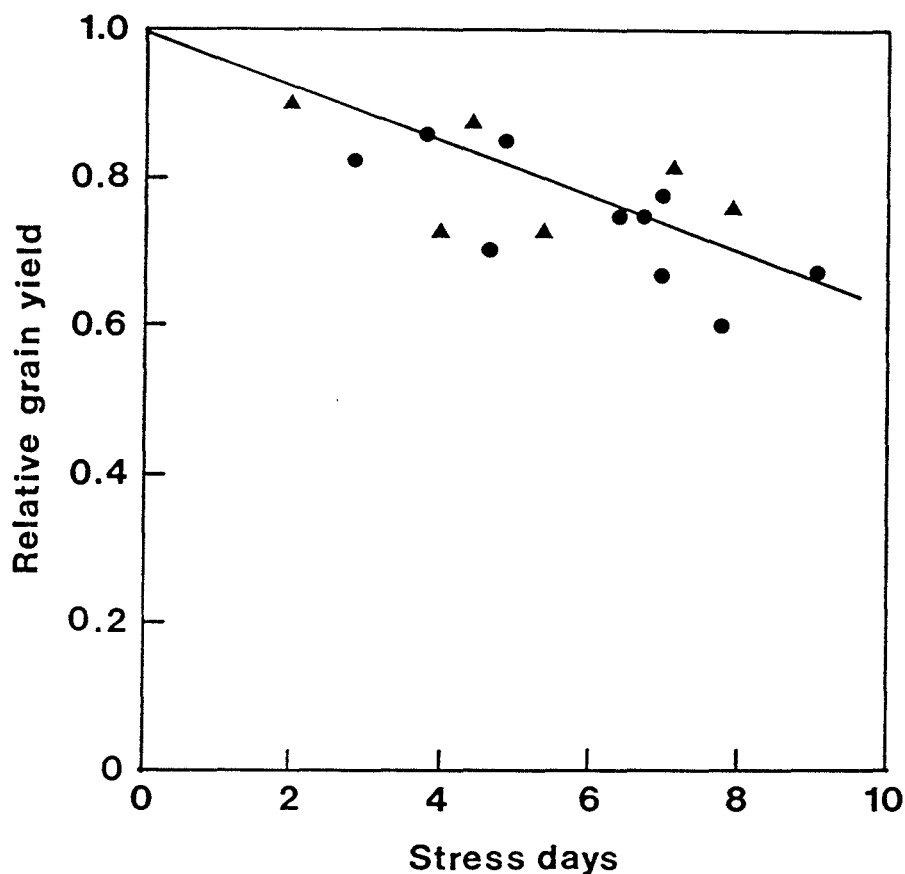


Fig. 15: Relativ kerneydelse, som funktion af antal stress dage i tørkeperioden. Vandstress efter skridning (•), vandstress før skridning (Δ) inklusiv kerneydelse af sene skud. Vårbyg 1977.

Afslutning

Ved opstilling af modeller over afgrødeproduktionen i relation til vandforsyningen bør der tages hensyn til de enkelte udviklingsstadiers forskellige tørkefølsomhed.

For de afgrøder, hvor det økonomiske udbytte udgøres af den reproduktive del af afgrøden, knolde hos kartofler og kerner hos korn, frembringer tørkeperioder en kvalitetsforringelse, som normalt ikke indregnes i planteproduktionsmodeller, selv om sådanne kvalitetsforringelser kan være af større økonomisk betydning end udbyttenedgangen.

Litteratur

Denmead, O.T., and B.D. Millar, 1976: Field Studies of the conductance of wheat leaves and transpiration. Agron. J. 68:307–311.

Dragland, Steinar, 1978: Virkninger av tørkeperioder og to nitrogenmengder på potetsorten "Saphir". Forskning og forsøk i landbruket 29:277–299.

Imtiyaz, M, K.J. Kristensen, and V.O. Mogensen, 1982: Influence of Irrigation on Water Extraction, Evapotranspiration, Yield and Water Use Efficiency of Spring Wheat and Barley. Acta Agric Scand 32:263–271.

Jensen, H.E., 1980: Afgrødeproduktion og –kvalitet, lysenergi– og vandudnyttelse, nitrogenbalance og –transport i relation til nitrogen– og vandstatus. Eksperimentelle studier med Lolium perenne. DSR boghandel, København – 373 sider.

Jensen, H.E., V.O. Mogensen, 1984: Yield and Nutrient Content of Spring Wheat Subjected to Water Stress at Various Growth Stages. Acta Agric Scand 34:527–533.

Josefsen, Arent B., 1979: Vandpotential og –balance, afgrødeproduktion og –kvalitet reguleret af vandforsyning ved forskelligt udviklingstrin af kartoffel. Den Kgl. Veterinær – og Landbohøjskole, København – 136 sider.

Jørgensen, V., 1984: Vandforsyningens indflydelse på udbytte og kvalitet af kartofler. Tidsskrift for Planteavl 88:453–468.

Mogensen, V.O., 1980: Drought Sensivity at Various Stages of Barley in Relation to Relative Evapotranspiration and Water Stress. Agron. J 72:1033–1038.

Mogensen, V.O., H.E. Jensen, and Md. Abdur Rab, 1985: Grain Yield, Yield Components, Drought Sensivity and Water use Efficiency of Spring Wheat Subjected to Water Stress at Various Growth Stages. Irrig Sci 6:131–140.

Mogensen, V.O. 1985: Growth Rate of Grains and Grain Yield of Wheat in Relation to Drought. Acta Agric Scand 35:353–360.

NJF, Landskrona, 1st – 3rd August 1989

**SEMINARIUM NR 151
VATTNINGSBEHOV OCH NÄRINGSTILLFÖRSEL**

CHR. R. JENSEN

**PLANT WATER RELATIONS
APPROACHES AND MEASUREMENTS**

**Department of Soil and Water and Plant Nutrition
The Royal Veterinary and Agricultural University
Thorvaldsensvej 40
DK-1871 Frederiksberg C
Copenhagen, Denmark**

PLANT WATER RELATIONS APPROACHES AND MEASUREMENTS

CONTENTS	Page
SUMMARY	1
INTRODUCTION	2
WATER POTENTIAL AND WATER CONTENT	2
THE SOIL-PLANT-AIR CONTINUUM (SPAC)	5
MEASUREMENT OF PLANT WATER STATUS	
AND GAS EXCHANGE	11
Introduction	11
Water content	11
Water potential	11
Components of water potential	13
Pressure volume curves	15
Measurement of stomatal conductance and gas exchange ..	15
REFERENCES	16

SUMMARY

Plant water deficits are described by relative water content (RWC), water potential (ψ), and its components osmotic potential (ψ_{π}), and turgor potential (ψ_p). The shape of the curves describing their interrelationship in the Höfler diagram, is determined by the bulk tissue elastic modulus (ϵ). The relation between plant water status and gas exchange is illustrated.

Water transport in the soil-plant-atmosphere continuum (SPAC) is described by Ohm's law analogy as ratios of potential differences and resistances connected in series. The threshold in soil hydraulic conductivity limiting water uptake and methods in calculating ψ at the root surface are discussed.

Current techniques for measuring RWC, ψ , ψ_{π} and ψ_p are described and the derivation of pressure volume (PV) curves is given in details. The PV technique both give the most rigorous determination of water relation parameters and the greatest amount of information. However, the PV technique is rather time consuming.

Finally, for field use the measurements of stomatal conductance and gas exchange of water vapour and CO₂ by porometer technique are mentioned.

INTRODUCTION

Even under the humid cool conditions of Northern Western Europe water shortage may limit plant growth during intermittent periods of drought; e.g. in Denmark half of the agricultural land consists of light textured soils in which the rooting depth is shallow, often restricted to a depth of only 50–70 cm, and for such soils the root zone water holding capacity is low being in the range of only 40–60 mm of water. Therefore, nearly every growing season the crops on such soils are exposed to drought influencing plant water relations when periods with no precipitation exceed 10–14 days at high evaporative demands, 3–5 mm day⁻¹.

During the last 30 years plant water relationships have been the subject of intensive studies and a comprehensive amount of textbooks (e.g. Slatyer, 1967; Milburn, 1979; Levitt, 1980; Kozlowski, 1981; Jones, 1983; Kramer, 1983; Teare and Peet, 1983; Steward, 1986), and review papers (e.g. Begg and Turner, 1976; Hsiao, 1973; Hsiao et al., 1976; Turner, 1979; Tyree and Karamanos, 1981; Bradford and Hsiao, 1982; Jones et al., 1981; Hanson, 1982; Hsiao and Bradford, 1983; Meidner, 1983; Tyree and Jarvis, 1983; Morgan, 1984; Andersen, 1985; Turner, 1986; Turner and Passioura, 1986) have been published covering these relationships. For a regular summary of papers on plant water relationships readers are referred to a series of reviews in *Progress in Botany* (*Fortschritte der Botanik*; Lange and Lösch, 1979; Lösch, 1982, 1984, 1986 and 1989). The purpose of this paper is both to emphasize some important approaches used in evaluating plant water relations and to describe current techniques used for their measurement.

WATER POTENTIAL AND WATER CONTENT

About 80% of the green tissue of our cultivated plants is water. When the water content of the tissue decreases c. 10 to 15% below the water content held at full turgor the metabolism of the plants can be markedly affected and at a decrease of 20–25% most growth processes cease.

The two basic parameters which describe the degree of unsaturation, i.e. the plant water deficit, are the tissue water content and the energy status of the water in the cell. The water content is usually expressed as relative to that at full saturation; i.e. the relative water content (RWC). The energy status of water is usually expressed as the total water potential (ψ).

The water potential is the difference between the chemical potential of water (J mol^{-1}) in the system (μ_{W}) and that of pure free water (μ_{W}^0). By dividing the difference in chemical potential by the partial molal volume of water, V_{W} ($\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$) the water potential can be expressed in terms of pressures, or tensions (e.g. $\text{J m}^{-3} = \text{N m}^{-2} = \text{Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$):

$$\psi = \frac{\mu_W - \mu_W^0}{V_W} \quad (1)$$

ψ is often expressed in MPa (1 MPa = 10 bar). An alternative expression relates the ratio of water vapour pressure in the system (p) to that of saturated vapour (p_o) as follows:

$$\psi = \frac{RT}{V_W} \ln \frac{p}{p_o} \quad (2)$$

where R is the gas constant $8.3143 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ and T is the absolute temperature (K).

As for soil, plant water potential can be divided into various components: i.e. osmotic potential (ψ_π), turgor pressure (ψ_p), matric potential (ψ_m) and gravitational potential. As the gravitational component is only 0.01 MPa m^{-1} it can, except in high trees, be neglected. Hence:

$$\psi = \psi_\pi + \psi_p + \psi_m \quad (3)$$

For plant tissue in equilibrium with its surroundings the total water potential (ψ) is the same throughout the system; i.e. in xylem, wall, cytoplasm and vacuole. However, the components of the total water potential may be quite different. In the vacuole the total water potential arises largely from osmotic and turgor forces, whereas in wall and xylem matric forces are predominant. The osmotic potential of the apoplastic water (water in wall and xylem) is high, less than -0.05 MPa .

Plant cells (cytoplasm and vacuole) behave as osmometers caused by the semi-permeable plasma membrane, and ψ within cells equilibrates with the surroundings within seconds. The main components relevant to plant cells are turgor potential (ψ_p) and osmotic potential (ψ_π). Hereby:

$$\psi = \psi_p + \psi_\pi \quad (4)$$

The turgor pressure (ψ_p) is the pressure difference between that inside and outside the cell wall.

An useful approximation of ψ_π is the van't Hoff relation:

$$\psi_\pi = - R T C_s \quad (5)$$

where C_s is the concentration of solutes (mol m^{-3} solvent). R and T are as defined above. Typical cell sap from many plants has an osmotic potential (ψ_π) of about -1 MPa .

The water relations of plant cells (tissues) are often described by the Höfler diagram (Fig. 1) which shows the interdependence of cell volume ψ , ψ_π and ψ_p as the tissue loses water (decrease of RWC). In a fully turgid

cell $\psi = 0$ and $\psi_{\pi} = \psi_p$. Also at this point $RWC = 1$. When RWC decreases ψ_p , which is the result of the elastic extension of the cell wall, also decreases until the zero turgor point. Visible wilting is observed when the point of zero turgor is reached.

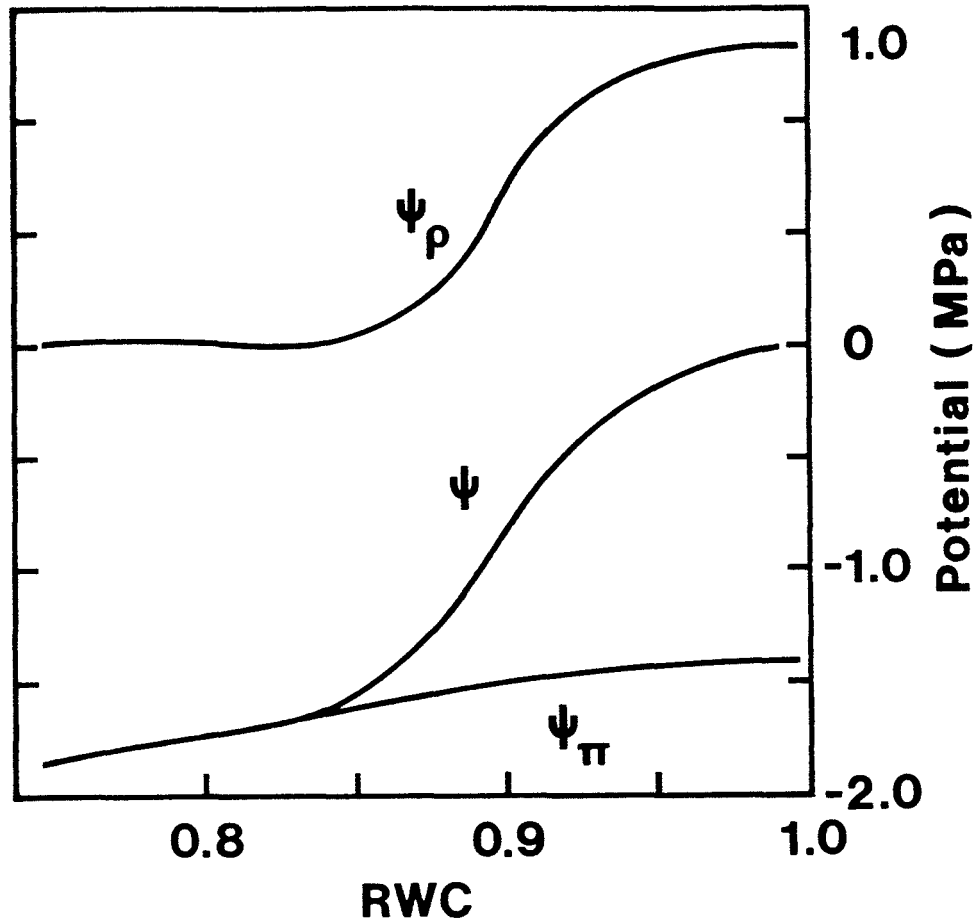


Fig. 1 Höfler diagram showing the relationships between total water potential (ψ), turgor potential (ψ_p), osmotic potential (ψ_{π}) and relative water content (RWC) as plant tissue dehydrates from a fully turgid state.

An important character determining the shape of the curves in Fig. 1 is the elasticity of the cell wall. If the cell wall is rigid ψ and its components change relatively steeply for a given water loss. The wall rigidity is described by the bulk modulus of elasticity (ϵ) defined by Hellkvist et al., 1974 as:

$$\epsilon = d\psi_p / (dV/V_o) \quad (6)$$

where V_o is the turgid volume of the cell.

The total water potential (ψ) is the driving force for water movement through the soil-plant-atmosphere system. However, the water flux through the system is controlled by the rate of evaporation. Thus, ψ can only be regarded as indirectly controlling the flux through the plant by any

effect it may have on the gas phase mainly closure of stomata or stomatal resistance.

THE SOIL-PLANT-AIR CONTINUUM (SPAC)

In the past 30 years the water flow through the system (F) has been represented by the van den Honert (1948) principle:

$$F = \frac{\psi_s - \psi_r}{R_s} = \frac{\psi_r - \psi_l}{R_p} = \frac{\psi_l - \psi_a}{R_a} \quad (7)$$

where ψ_s , ψ_r , ψ_l and ψ_a are the total water potential of soil, at the root surface, at the evaporating surfaces of the leaf, and of the bulk air, respectively. R_s , R_p and R_a are the resistances of the soil, plant, and vapour pathways, respectively. While the potential drop in the two liquid phases of the pathway is normally no greater than 3 MPa, the drop in the water potential between leaf and bulk air ($\psi_l - \psi_a$) can be 100 MPa or greater and emphasizes the significance of stomata in controlling the flow of water through the system.

However, caution is needed when attempting to extrapolate from eq. (7). Flow through the soil, plant and atmosphere are coupled but separate systems, the uptake and redistribution of water from the soil within the plant occur in the liquid phase, while loss of water from the evaporating sites in the leaf is in the vapour phase. A calculation using gradients of water potential as the driving force will lead to a substantial overestimation of the magnitude of the resistances of the vapour phase due to the logarithmic relationship between water potential and vapour pressure (eq. 2). Also, the van den Honert model assumes a steady-state situation which seldom exists within the plant. Finally, tissues of plants with significant storage capacity can be regarded as alternative sources of water linked in parallel with the soil.

The above concept of van den Honert (eq. 7) treating the soil-plant-atmosphere water movement in analogy with Ohm's law has stimulated much useful research since its adoption. The recognition of the stomatal resistance being the crucial resistance regulating water vapour flux out of the plant, and the control of stomatal closure under water stress by decrease of turgor pressure of stomatal cells, caused by decrease of leaf water potential, are similarly well recognized.

When the water status of a plant starts to fall, which it will if the evaporative loss from the leaves exceeds the influx of water from the roots, a threshold behavior is often observed; i.e. stomata close when a certain threshold of ψ_l is reached, often from -1.2 to -1.6 MPa for field grown crops. The threshold behavior acts as an overriding protective mechanism against excessive leaf water deficit (Hsiao and Bradford, 1983).

The above threshold effect is illustrated in Fig. 2 showing gas exchange, leaf growth rate and turgor pressure in two contrasting species, wheat and lupin, in respect to level of leaf water potential (ψ_l); the latter species has a high ψ_l value and a sensitive stomatal response to decrease of ψ_l . Even a slight dehydration of the lupin leaves induces stomatal closure, thus limiting photosynthesis when light and temperature conditions would otherwise permit maximum photosynthetic rates. Diurnal leaf water status, leaf conductance and assimilation rate in lupin plants with root systems under differing moisture regimes are shown in Fig. 3 illustrating that also on diurnal basis a slight decrease of leaf water potential essentially decreases the leaf conductance and the assimilation rate of lupins.

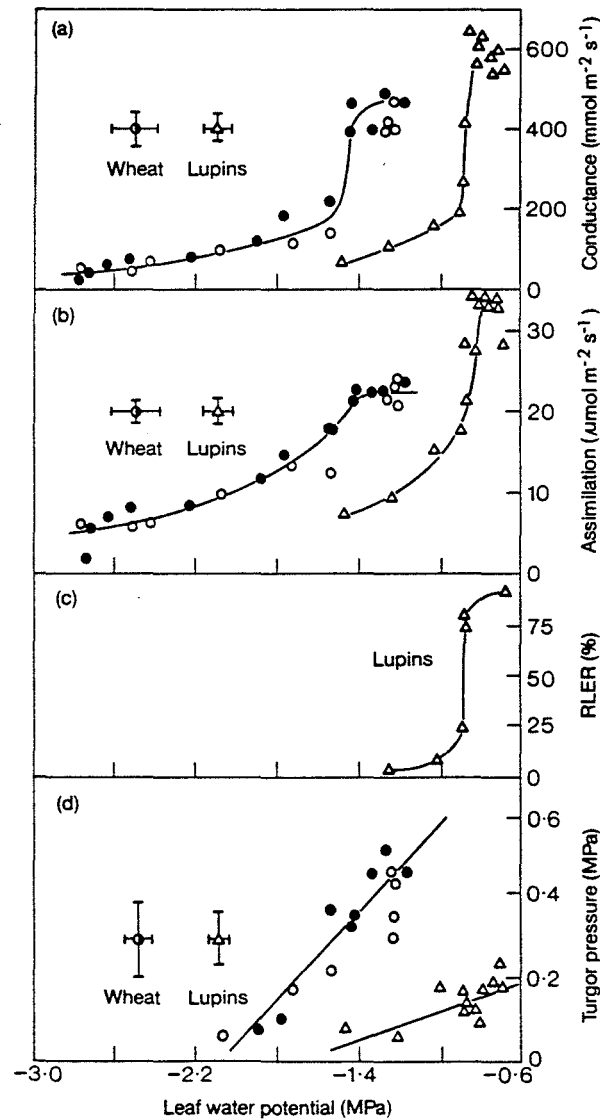


Fig. 2 Leaf conductance to water vapour (a), net CO_2 assimilation rate (b), relative leaf extension rate (RLER) (c), and leaf turgor pressure (d) as a function of leaf water potential for leaves of lupin (Δ) and wheat cvs. Gamenya (\bullet) and Warigal (\circ). (After Henson et al., 1989).

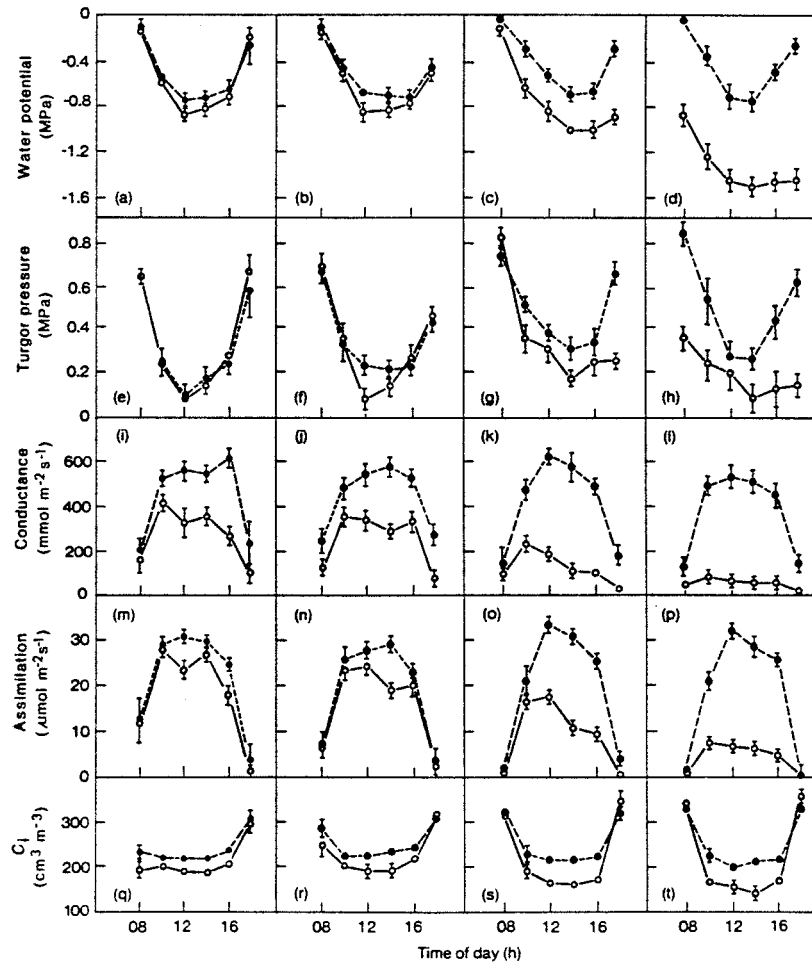


Fig. 3 Diurnal changes in (a–d) leaf water potential (ψ_l), (e–h) leaf turgor pressure (ψ_p), (i–l) leaf conductance to water vapour, (m–p) net CO_2 assimilation rate, and (q–t) intercellular CO_2 concentration (C_i) of watered (\bullet) and droughted (\circ) plants of lupin at four stages during the development of soil water deficits. (After Henson et al, 1989).

Although all intermediate values along the flow pathway (soil–root–xylem–leaves–atmosphere) are not well established the general shape of the potential gradient given in Fig. 4 is probably realistic showing an essential potential drop at the root surface and at the transition to the atmosphere.

With the development of the pressure chamber and soil–plant psychrometers water potential and resistance measurements have become numerous. However, calculating the water potential at the root surface is still a challenging problem. An often used approach for calculating the soil matric potential at the root surface (ψ_{rsm}) is the steady state single root model of Cowan (1965) and Gardner (1960):

$$\psi_{\text{rsm}} = \psi_M - \frac{q_r \ln(r_{\text{cyl}} / r_{\text{root}})}{2 \pi k_s} \quad (8)$$

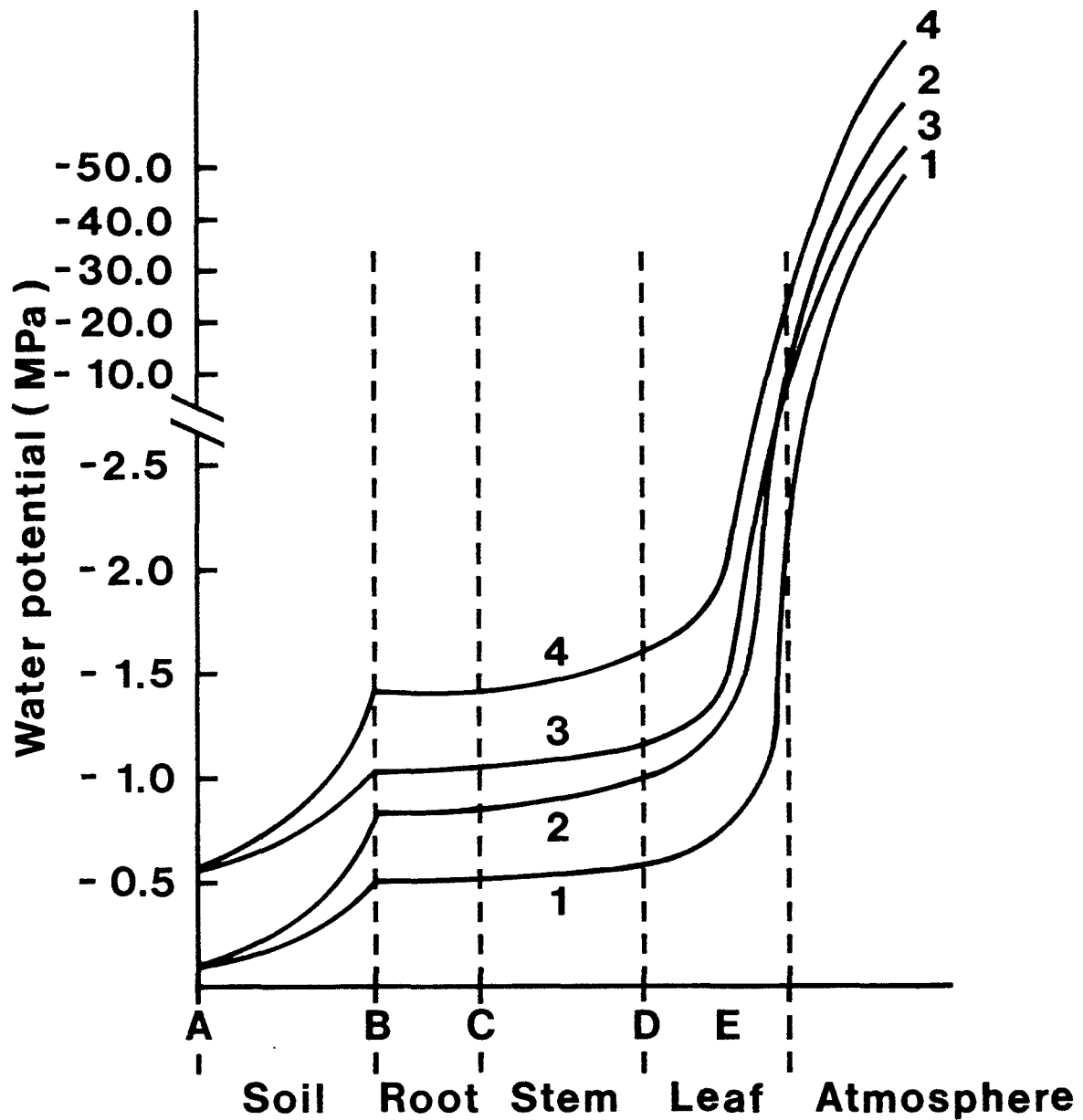


Fig. 4 Idealized water potential gradients through the SPAC. Curves 1 and 2 represent plant water removal from relatively wet soil at low and high transpiration rates, respectively; curves 3 and 4 represent plant water removal at low and high transpiration rates, respectively, after soil water potential has been reduced to -0.6 MPa. (After Hillel, 1980).

where q_r , ψ_{rsm} , ψ_M , k_s , r_{root} and r_{cyl} are the rate of root water uptake, the soil matric potential at the root surface, the bulk soil matric potential, the hydraulic conductivity of the soil, the radius of the root, and the radius of the cylinder of soil through which water is moving, respectively. This model (eq. 8) describes radial transport of water to the root surface from the cylinder of soil effectively occupied by a root.

Analysis of the steady-state solution shows that the soil water potential is nearly constant except in a thin shell next to the root (Cowan, 1965). Therefore the ψ_{cyl} can be approximated by the bulk soil matric potential (ψ_M). Gardner (1960) assumed r_{cyl} to be equal to one-half the distance between adjacent roots, hence r_{cyl} can be approximated:

$$r_{cyl} = (\pi L_v)^{-1/2} \quad (9)$$

where L_v is the root length density (cm cm^{-3}).

Eq. (8) implies that both the absolute level of ψ_M , k_s and the rate of root water uptake (q_r) influence the matric potential at the root surface (ψ_{rsm}) at a given root geometry.

Having calculated ψ_{rsm} by eq. (8) the soil resistance can be estimated by eq. (7). At root densities typical of field values Reicosky and Ritchie (1976) found in field and glasshouse studies that until a threshold soil hydraulic conductivity value of 10^{-6} to 10^{-7} cm/day the plant resistance was much larger than the soil resistance. This threshold conductivity usually occurred at about -0.1 to -0.8 MPa for a sandy and a clay soil, respectively.

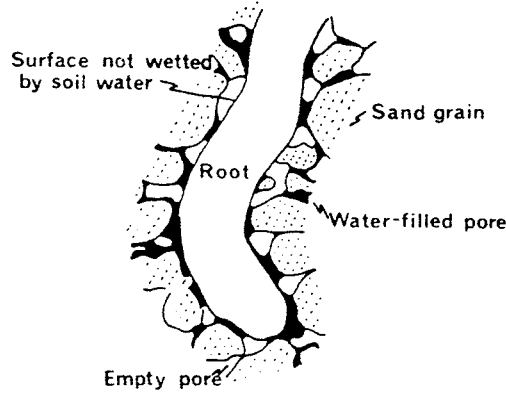


Fig. 5 Illustration of poor contact between root and soil. (After Herkelrath et al., 1977).

In the single root model of Cowan (1965) and Gardner (1960) (eq. 8) it is assumed that all root surfaces are in contact with soil water. However, during depletion of soil water recent evidences indicate that only a fraction of the root surface area is in contact with soil water (Fig. 5). Thus, in a key study of Herkelrath et al. (1977) the term the wetted fraction of roots was introduced. In that study the effective conductivity of a root segment was assumed to be proportional to the wetted fraction of the root surface area of that segment, such that:

$$q = \theta/\theta_s \rho (\psi_{rs} - \psi_r) \quad (10)$$

In eq. (10) q is the rate of flow through the root membrane, θ/θ_s is the average volume saturation of the soil pore space, ρ is the membrane

permeability per unit length of root, ψ_{rs} is the soil water potential at the root surface, and ψ_r is the water potential inside the root. By using this root contact concept Herkelrath et al. (1977) found much better agreement between measured and calculated rates of water uptake than when using the Gardner (1960) model which in principle is similar to eq. (8). Similarly, Jensen et al. (1989a) derived a correction for root contact when calculating ψ_{rsm} by introduction of the θ_{rs}/θ_s ratio in eq. (8):

$$\psi_{rsm} = \psi_M - \frac{q_r \ln(r_{cyl}/r_{root})}{2 \pi k_s \theta_{rs}/\theta_s} \quad (11)$$

where θ_{rs} is the estimated soil water content at the root surface and θ_s is the saturation soil water content.

Further evidence supporting the notion that the extent of vapour gaps around roots will increase as soil water content decreases, so increasing soil-root interface resistance, has been obtained in experiments of Faiz and Weatherley (1977, 1978 and 1982), Jensen et al. (1989b) and of Örlander and Due (1986). The latter provided direct experimental evidence for the adverse effect of poor root-soil contact and showed how it could be reduced.

The above evidences indicating a substantial soil-root interface resistance emphasise the need for further investigations and modelling in order to quantify the contact resistance for different soils and root characteristics. Hereby a better understanding can be developed of soil-root interface properties and of water transport in the soil-plant water pathway.

Different models for water transport in the soil-plant system are described in a key-review of Molz (1981). Zur and Jones (1981) developed a conceptual model which integrates effects of soil, crop and climatic conditions on plant water relations, expansive growth, photosynthesis and water use of agricultural crops using leaf turgor related leaf growth and stomatal functions and the Cowan (1965) and Gardner (1960) model for calculating the root water uptake. The model was successfully tested for simulating diurnal patterns of the above variables in field grown soyabean (Jones et al., 1983; Zur et al., 1983).

The use of soil and plant water status measurements for modelling crop response to the environment, e.g. when scheduling irrigation, has lately been reviewed and discussed by Hanks and Nimah (1988). They emphasize the importance of continually checking by measurements the validity of the models in order to facilitate model adjustments.

MEASUREMENT OF PLANT WATER STATUS AND GAS EXCHANGE

Introduction

As mentioned above plant water status strongly influence plant growth through its influence on gas exchange and expansion of leaves and roots. Leaf water deficits cause stomatal closure limiting CO₂ uptake and hence net photosynthesis. Also plant water deficit may negatively affect the process of photosynthesis itself. The physiological consequences of water deficits in plants have been intensively studied and reviewed lately by Hsiao and Bradford (1983).

The methodology applied for studying plant water status generally comprises measurement of both water content and water potential and its components often associated with measurements of other plant responses to stress; i.e. changes of growth rate, gas exchange, leaf resistance, stomatal opening, nutrient uptake, hormon balance etc. Below I will concentrate on approaches used for water content, water potential and gas exchange measurements. The subjects have recently been covered by the comprehensive volume written by Slavik (1974), by the review chapter of Bannister (1986) and the review papers of Turner (1981 and 1988) and Beadle et al. (1985).

Water content

A common approach for measuring plant water content is based on measurement of fresh weight (FW) at time of sampling, dry weight (DW) determined at 80°C, and turgid weight (TW). TW is obtained by floating leaves or leaf disks on water at the light compensation point for about 4 hs (Barrs and Weatherley, 1962). Thus, the following water content expressions can be obtained:

$$\begin{aligned}\text{Absolute water content, } W &= (FW - DW)/DW \\ \text{Relative water content, } RWC &= (FW - DW)/(TW - DW) \\ \text{Water saturation deficit, } WSD &= 1 - RWC \\ \text{Turgid Wt/dry Wt ratio} &= TW/DW\end{aligned}$$

Also indirect methods of measurements of leaf water content are available, such as using a source of beta radiation and relating count rates to water content (Bannister, 1986), or by direct measurement of leaf thickness by an inexpensive micrometer (Búrquez, 1987).

Water potential

Measurement of total water potential has become routine either by the use of thermocouple psychrometer or pressure chamber. Equipment for the measurement of water potential by both techniques is commercially available.

The pressure chamber technique is much used for measuring leaf water potential in the field due to its rapidity and reliability. Also it does not require accurate control of temperature. The principle of the technique, based upon a rediscovery of Scholander et al. (1965), is that a leaf or branch is placed in the pressure chamber with the cut end just protruding from the chamber through a rubber bung which seals the chamber (Fig. 6). During the measurement the leaf is sealed in a bag to minimize evaporation and hereby change of water potential during the measurement.

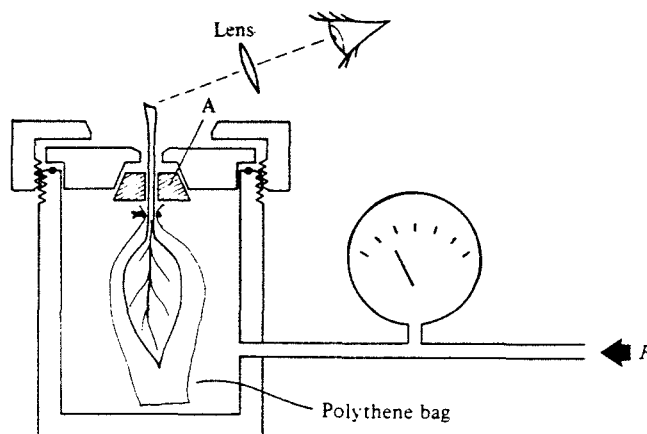


Fig. 6 Pressure chamber with the leaf sealed in a polyethylene bag in order to minimize dehydration through evaporation. (After Jones, 1983).

The pressure of the chamber is slowly increased ($10\text{--}30 \text{ kPa s}^{-1}$) to a pressure sufficient to balance the tension by which the water is held in the xylem and force the meniscus back to the cut surface which easily can be recorded visually in a microscope. As the osmotic potential of the xylem sap is high ($> -0.05 \text{ MPa}$) the negative balance pressure therefore nearly equals the leaf water potential and is most often used without correcting for osmotic potential of the xylem sap. Further cautions and procedures are given by Turner (1988) and Bannister (1986). Turner (1988) lists several commercially available pressure chambers.

The thermocouple psychrometer technique is based on eq. (2), i.e. that water potential of plant tissue can be obtained from measurement of relative humidity obtained after equilibration of the tissue in a small chamber.

A detailed description of the use of psychrometer technique for measuring water potential and its components is given by Wiebe et al. (1971) and Slavik (1974). Savage et al. (1981) have in detail investigated the calibration of psychrometers. Temperature compensated thermocouple psychrometers for conventional use on plant tissue and for *in situ* measurement of leaf water potential (Campbell and Campbell, 1974) are commercially available through Wescor Inc., 459 South Main Street, Logan, Utah 84321, USA.

Components of water potential

As mentioned above water potential (ψ) of plant tissue consists of two major components: the osmotic potential (ψ_{π}) and the turgor potential (ψ_p) due to cell wall pressure (eq. 4).

ψ_{π} can be measured by thermocouple psychrometry on expressed tissue sap or killed tissue, or by a freezing point depression osmometer (e.g. H. Roebling, Berlin, West Germany) on expressed sap collected after the tissue has been frozen (in liquid nitrogen) followed by thawing. Only 0.1 to 1.0 ml sap is needed for the ψ_{π} determination. A major problem arises with the sap extraction technique which may result in dilution of symplastic water by apoplastic water. Hence, ψ_{π} may be overestimated and ψ_p may become underestimated when derived as $\psi_p = \psi - \psi_{\pi}$.

For use in the laboratory ψ_p of single cells can be measured directly by the pressure probe (Husken et al., 1978).

Pressure volume curves

The pressure volume technique has widely been considered to be the most rigorous technique and provides the greatest amount of information on the water status of the leaf (e.g. Wilson et al., 1979). By this technique a leaf or shoot is rehydrated with the cut end in pure water in a humidified box, so that ψ become close to zero. At this stage a series of water potential determinations are performed, most often by the pressure chamber technique, during dehydration of the leaf. However, the technique has practical disadvantages, as it is only possible to determine 6–10 pressure volume curves per day. By use of unsaturated salt solutions to generate leaf tissue water–release curves more than 20 curves per day could be generated (Livingston and de Jong, 1988).

The psychrometer technique (e.g. Kikuta et al., 1985) and the above mentioned use of unsaturated salt solutions can also be applied for water potential determinations. Decrease of volume of the tissue is calculated from decrease of tissue water content. The latter is determined either by weighing the leaf in between ψ determinations or by sampling of water in a vial equipped with a water absorbent material from the cut end (e.g. Tyree and Hammel, 1972; Robichaux, 1984). Knowing TW, DW and change of water of the leaf, RWC can be calculated and the pressure volume curve can be presented as the inverse water potential as a function of RWC (Fig. 7). Below RWC values of zero turgor ($\psi_p = 0$) the slope of the $d(1/\psi)/dRWC$ curve, will be linear following the Boyle van't Hoff's law for plant cells ($\psi_{\pi} \times RWC = \text{constant}$). By extrapolation of the relationship to full turgor ($RWC = 1$) $1/\psi_{\pi}$ at full turgor can be derived. From the extrapolated regression curve of $1/\psi_{\pi}$ on RWC (above $\psi_p = 0$) ψ_p can also be obtained as ψ subtracted the extrapolated ψ_{π} values. Thereby rela-

tionships between ψ_p and RWC can also be obtained (Fig. 7) for calculation of bulk modulus of elasticity (ϵ) of the tissue by the equation:

$$\epsilon = d\psi_p/dRWC \times RWC \quad (12)$$

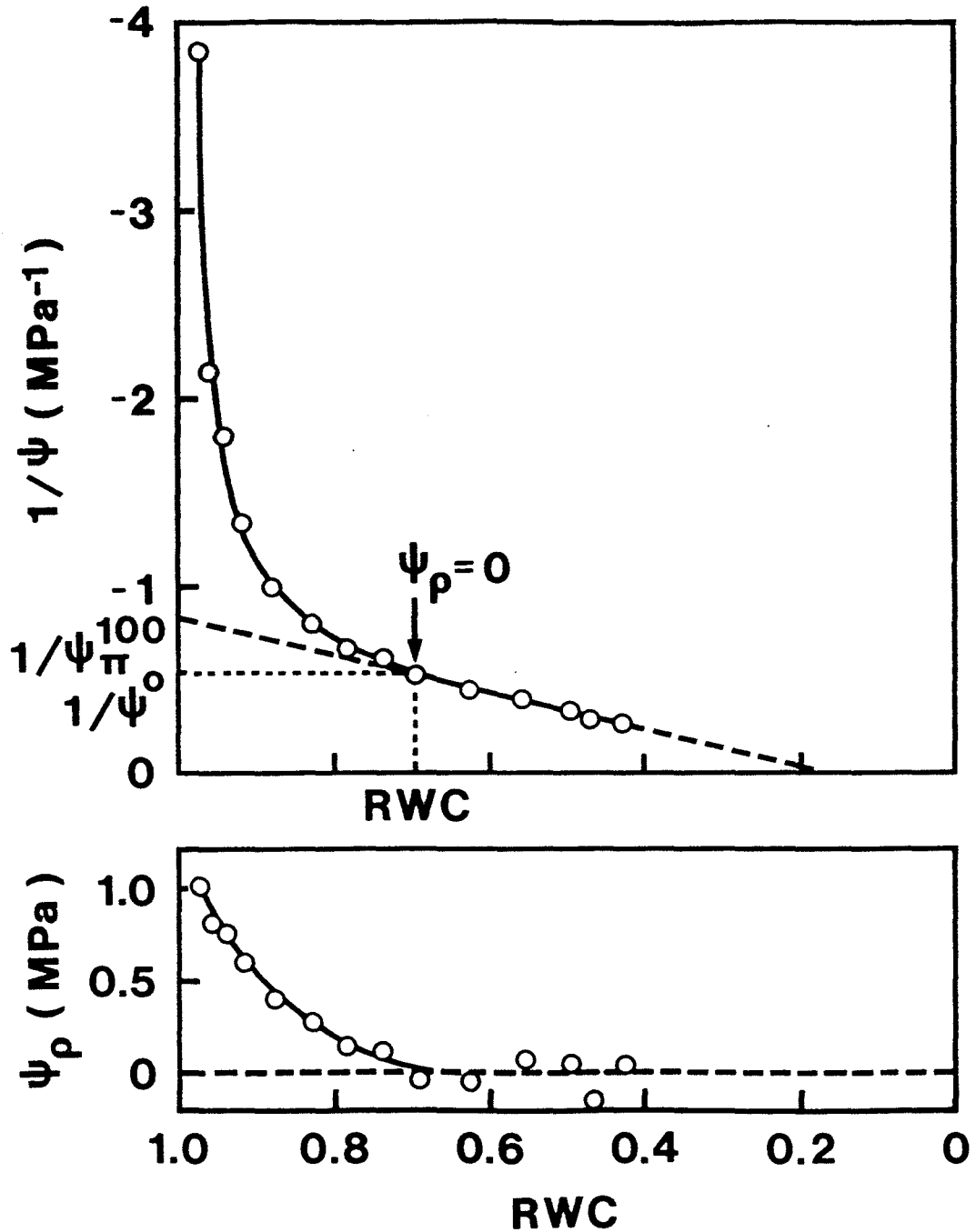


Fig. 7 A pressure volume curve illustrating the inverse of water potential (ψ) and turgor potential (ψ_p) as a function relative water content (RWC). The osmotic potential at full turgid weight (ψ_π^{100}) is derived from extrapolation of the linear portion of the $1/\psi$ versus RWC curve. The inverse water potential ($1/\psi^0$) and RWC at zero turgor ($\psi_p = 0$) are also indicated.

Different approaches for calculating tissue parameters from pressure volume curves have lately been outlined and discussed by Kikuta and Richter (1986) and Stadelmann (1984). The advantage of the pressure volume method is that apoplastic water does not interfere in the determination of ψ_{π} and also the elasticity of the tissue can be quantified. An useful ecological interpretation of pressure volume curves is given by Jane and Green (1983) and Bannister (1986).

Measurement of stomatal conductance and gas exchange

The epidermis of leaves creating the boundary between leaf interior and the atmosphere is covered by a relatively impermeable cuticle except at stomata openings through which gases (CO_2 and water vapour) mainly exchange between the leaf interior and the atmosphere. When water deficits develops in the leaves the turgor regulated stomatal cells close with the consequent reduction in transpiration and CO_2 uptake. Thus it is important to measure stomatal opening directly from stomatal impressions or by measuring the rate of gas exchange.

Stomatal impressions can be obtained by applying a quick-drying substance to the leaf surface followed by microscopic countings and measurements of stomatal opening on the impressions (Rice et al., 1979). Stomatal opening can be converted into diffusive resistance (Meidner and Mansfield, 1968).

Stomatal conductance can be calculated from measurements of water vapour loss in leaf chambers under laboratory conditions (Sesták et al., 1971). However, for field conditions more simple portable technique is required in order to obtain many determinations and hereby reduce the statistical uncertainty. This claim has been met by the introduction of diffusive porometers and most work on stomatal resistance is now carried out with such porometers based on a electronic moisture-sensor system. These instruments measure the diffusion of water vapour away from the leaf and are of two basic types the "transient" and "steady state" porometer. In both types the leaf is enclosed in a cuvette which may be ventilated. Ventilation reduces the boundary resistance layer to a low value. However, ventilation may increase the evaporative loss and induce stomatal closure.

Non-ventilated transient porometers are relatively cheap and instruments are commercially available (e.g. "Delta T Automatic Porometer Mk III", Delta-T Devices, Cambridge, U.K.).

In steady state porometers, which are always ventilated, the relative humidity is maintained at or near ambient humidity. Stomatal resistance is derived either from the increase in humidity in the air passing the leaf or from the rate of inflow of dry air needed to maintain a constant humidity. These instruments are also commercially available (e.g. "LI-1600 Steady State Porometer", LiCor Inc.).

During the latest years porometers which combine measurements of both stomatal resistance and photosynthesis have become commercially available (e.g. "LI 6200 Portable Photosynthesis System", LiCor Inc., Lincoln 68504, Nebraska, USA; "CO₂ - H₂O - Porometer" Heinz Walz, Mess- und Regeltechnik, D-8521 Effeltrich, West Germany; "Field Analysing System", ADC Ltd. Haddesdon, Herts. EN11OAO, England). In these CO₂ and H₂O porometers the CO₂ assimilation determination is based on infrared gas analysis. They also have the facilities to register light intensity, humidity and temperature. Information on theory, calibration and use of porometers are given elsewhere (e.g. Schultze et al., 1982; Jones, 1983; Beadle et al., 1985; Bannister, 1986).

REFERENCES

- Andersen, M. 1985 Drought resistance, root development and soil water supply on sandy soil. *Tidsskr. Planteavl. Beretning* nr. S 1775.
- Bannister, P. 1986 Water relations and Stress. *In: Methods in Plant Ecology*, 2nd ed. Eds: P.D. Moore and S.B. Chapman. pp 73-143. Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- Barrs, H.D. and Weatherley, P.E. 1962 A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 413-28.
- Beadle, C.L., Ludlow, M.M. and Honeysett, J.L. 1985 Water relations. *In: Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. Eds: Combs et al. pp 50-61. Pergamon Press, Oxford.
- Begg, J.E. and Turner, N.C. 1976 Crop water deficits. *Adv. Agron.* 28, 161-217.
- Bradford, K.J. and Hsiao, T.C. 1982 Physiological responses to moderate water stress. *In: Encycl. Plant Physiol. New Ser.* 12B. Eds: A. Pirson and M.A. Zimmermann. pp 263-324. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Búrquez, A. 1987 Leaf thickness and water deficit in plants: A tool for field studies. *J. Exp. Bot.* 38, 109-14.
- Campbell, G.S. and Campbell, M.D. 1974 Evaluation of a thermocouple hygrometer for measuring leaf water potential in situ. *Agron. J.* 66, 24-7.
- Cowan, I.R. 1965 Transport of water in the soil-plant-atmosphere system. *J. Appl. Ecol.* 2, 211-39.
- Faiz, S.M.A. and Weatherley, P.E. 1977 The location of the resistance to water movement in the soil supplying the roots of transpiring plants. *New Phytol.* 78, 337-47.
- Faiz, S.M.A. and Weatherley, P.E. 1978 Further investigations into the location and magnitude of the hydraulic resistances in the soil plant system. *New Phytol.* 81, 19-28.
- Faiz, S.M.A. and Weatherley, P.E. 1982 Root contraction in transpiring plants. *New Phytol.* 92, 333-43.
- Gardner, W.R. 1960 Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Sci.* 89, 63-73.
- Hanks, R.J. and Nimah, M.N. 1988 Integrating and applying soil and plant water status measurements. *Irrig. Sci.* 9, 319-28.
- Hanson, A.D. 1982 Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 33, 163-203.
- Hellkvist, R., Richards, G.P. and Jarvis P.G. 1974 Vertical gradients of water potential and tissue water relations in Sitka spruce trees measured with the pressure chamber. *J. Appl. Ecol.* 11, 637-67.
- Henson, I.E., Jensen, C.R. and Turner, N.C. 1989 Leaf gas exchange and water relations of lupins and wheat. I. Shoot responses to soil water deficits. *Aust. J. Plant Physiol.* 16 (In print).
- Herkelrath, W.N., Miller, E.E. and Gardner, W.R. 1977 Water uptake by plants: II. The root contact model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 1039-43.
- Hillel, D. 1980 Applications of soil physics. Acad. Press, New York.

- Honert, T.H. van den 1948 Water transport in plants as a catenary process. *Discuss. Faraday Soc.* 3, 146–53.
- Hsiao, T.C. 1973 Plant response to water stress. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 24, 519–70.
- Hsiao, T.C., Acevedo, E., Fereres, E. and Henderson, D.W. 1976 Water stress, growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans. R. London, Ser. B* 273, 479–500.
- Hsiao, T.C. and Bradford, K.J. 1983 Physiological consequences of cellular water deficits. *In: Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. Eds: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair. pp 227–65. ASA–CSSA–SSSA, Madison, USA.
- Husken, D., Steudle, E. and Zimmerman, U. 1978 Pressure probe technique for measuring water relations of cells in higher plants. *Plant Physiol.* 61, 158–63.
- Jane, G.T. and Green, T.G.A. 1983 Utilisation of pressure–volume techniques and non–linear least squares analysis to investigate site induced stresses in evergreen trees. *Oecologia (Berlin)*, 57, 380–90.
- Jensen, C.R., Henson, I.E. and Hansen, S. 1989a. A root contact model and potential differences to water flow in the soil plant system. *In: International Congress of Plant Physiology*. February 15–20, 1988, New Delhi, India. (In print).
- Jensen, C.R., Henson, I.E. and Turner, N.C. 1989b Leaf gas exchange and water relations of lupins and wheat. II. Root and shoot water relations of lupin during drought–induced stomatal closure. *Aust. J. Plant Physiol.* 16 (In print).
- Jones, H.G. 1983 *Plants and Microclimate*. Camb. Univ. Press, Cambridge.
- Jones, J.W., Zur, B. and Boote, K.J. 1983 Field evaluation of a water relations model for soybean. II. Diurnal fluctuations. *Agron. J.* 75, 2981–86.
- Jones, M.M., Turner, N.C. and Osmond, C.B. 1981 Mechanisms of drought resistance. *In: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Eds: L.G. Paleg and D. Aspinall. pp 15–38. Acad. Press, Sydney.
- Kikuta, S.B., Kyriakopoulos, E. and Richter, H. 1985 Leaf hygrometer v. pressure chamber: a comparison of pressure–volume curve data obtained on single leaves by alternating measurements. *Plant, Cell and Environ.* 8, 363–67.
- Kikuta, S.B. and Richter, H. 1986 Graphical evaluation and partitioning of turgor responses to drought in leaves of durum wheat. *Planta* 168, 36–42.
- Kozlowski, T.T. (ed.) 1981 *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. 6. Acad. Press, New York.
- Kramer, P.J. 1983 *Water Relations of Plants*. Acad. Press, New York.
- Lange, O.L. and Lösch, R. 1979 Plant water relations. *Fort-schr. Bot.* 41, 10–43.
- Levitt, J. 1980 *Responses of Plants to Environmental Stresses*, 2nd ed., Vol. II. Acad. Press, New York.
- Livingston, N.J. and de Jong, E. 1988 Use of unsaturated salt solutions to generate leaf tissue water–release curves. *Agron. J.* 80, 815–18.
- Lösch, R. 1982 Plant water relations. *Fortschr. Bot.* 44, 64–96.
- Lösch, R. 1984 Plant water relations. *Fortschr. Bot.* 46, 38–55.
- Lösch, R. 1986 Plant water relations. *Fortschr. Bot.* 48, 56–79.
- Lösch, R. 1989 Plant water relations. *Fortschr. Bot.* 50, 27–50.
- Meidner, H. 1983 Our understanding of plant water relations. *J. Exp. Bot.* 34, 1606–8.
- Meidner, H. and Mansfield, T.A. 1968 *Physiology of Stomata*. McGraw–Hill, London.
- Milburn, J.A. 1979 *Water Flow in Plants*. Longman, London.
- Molz, F.J. 1981 Models of water transport in the soil–plant system: A Review. *Water Resour. Res.* 17, 1245–60.
- Morgan, J.M. 1984 Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35, 299–319.
- Reicosky, D.C. and Ritchie, J.T. 1976 Relative importance of soil resistance and plant resistance in root water absorption. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40, 293–97.
- Rice, J.S., Glenn, E.M. and Quisenberry, V.L. 1979 A rapid method for obtaining leaf impressions in grasses. *Agron. J.* 71, 894–96.
- Robichaux, R.H. 1984 Variation in the tissue water relations of two sympatric Hawaiian *Dubautia species* and their hybrid. *Oecologia (Berlin)*, 65, 75–81.
- Savage, M.J., Cass, A. and de Jager, J.M. 1981 Calibration of thermocouple hygrometers. *Irrig. Sci.* 2, 113–25.

- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D. and Hemmingsen, E.A. 1965 Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148, 339–46.
- Schulze, E.-D., Hall, A.E., Lange, O.L. and Walz, H. 1982 A portable steady-state porometer for measuring the carbon dioxide and water vapour exchanges of leaves under natural conditions. *Oecologia (Berlin)* 53, 141–45.
- Sesták, Z., Catský, J. and Jarvis, P.G. 1971 *Plant Photosynthetic Production: Manual of Methods*. Junk, The Hague.
- Slatyer, R.O. 1967 *Plant – Water Relationships*. Acad. Press, New York.
- Slavík, B. 1974 *Methods of Studying Plant Water Relations*, Academia, Prague. Springer Verlag, Berlin.
- Stadelmann, E.J. 1984 The derivation of the cell wall elasticity function from the cell turgor potential. *J. Exp. Bot.* 35, 859–68.
- Steward, F.C. (ed.) 1986 *Plant Physiology. A Treatise*. Vol. IX: Water and Solutes in Plants. Acad. Press, Orlando.
- Teare, I.D. and Peet, M.M. (eds.) 1983 *Crop – Water Relations*. Wiley – Interscience, New York.
- Turner, N.C. 1979 Drought resistance and adaption to water deficits in crop plants. *In: Stress Physiology in Crop Plants*. Eds: H. Mussell and R.C. Staples. pp 344–72. Wiley, New York.
- Turner, N.C. 1981 Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58, 339–66.
- Turner, N.C. 1986 Crop water deficits: A decade of progress. *Adv. Agron.* 39, 1–51.
- Turner, N.C. and Passioura, J.B. (eds.) 1986 *Plant Growth, Drought and Salinity*. Aust. J. Plant Physiol. 13.
- Turner, N.C. 1988 Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9, 289–301.
- Tyree, M.T. and Karamanos, A.J. 1981 Water stress as an ecological factor. *In: The 21st Symposium of The British Ecological Society, Edinburg 1979*. Eds: J. Grace, E.D. Ford and P.G. Jarvis. pp 237–61. Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- Tyree, M.T. and Jarvis, P.G. 1983 Water in tissues and cells. *In: Encycl. Plant Physiol.* New Ser. 12B. Eds: A. Pirson and M.A. Zimmermann. pp 33–79. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Tyree, M.T. and Hammel, H.T. 1972 The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure bomb technique. *J. Exp. Bot.* 23, 267–82.
- Wiebe, H.H., Campbell, G.S., Gardner, W.H., Rawlings, S.L., Cary, J.W. and Brown, R.W. 1971 Measurements of plant and soil water status. *Bull.* 484. pp 1–71. Utah Agric. Exp. St.
- Wilson, J.R., Fisher, M.J., Schulze, E.-D., Dolby, G.R. and Ludlow, M.M. 1979 Comparison between pressure – volume and dewpoint – hygrometry techniques for determining the water relations characteristics of grass and legume leaves. *Oecologia (Berlin)*, 41, 77–88.
- Zur, B. and Jones, J.W. 1981 A model for the water relations, photosynthesis and expansive growth of crops. *Water Resour. Res.* 17, 311–320.
- Zur, B., Jones, J.W. and Boote, K.J. 1983 Field evaluation of a water relations model for soybean. I. Validity of some basic assumptions. *Agron. J.* 75, 272–280.
- Örlander, G. and Due, K. 1986 Location of hydraulic resistance in the soil – plant pathway in seedlings of *Pinus sylvestris* L. grown in peat. *Can. J. For. Res.* 16, 115–123.

Heikinheimo M.J. & T.Koskela
Finnish Meteorological Institute
P.O.Box 503, 00101 Helsinki 10
Finland

Water budget of an agricultural field
Measuring techniques used in a Finnish experiment

1. Introduction

The concept of evaporation has for a long time been of great interest in agricultural applications where information of the available water for plants or moisture conditions in the canopy is important. Various methods, such as gravimetric and micrometeorological, have been developed to directly measure the amount of water evaporated into the atmosphere. Application of these methods on a long term basis have proven tedious and costly since the measuring instruments usually require great care and daily maintenance. Therefore long term records of actual evapotranspiration (AET) are rare to find.

Standard meteorological data or evaporation pans are, however, commonly used to deduce the so called potential evapotranspiration (PET), which represents the rate of water loss from a surface of short and extensive vegetation with an ample water supply from the soil. Finnish Meteorological Institute, as an example, provides daily data about cumulative rainfall and PET to be used for water balance calculations in agricultural applications, Fig. 1. The cumulative evapotranspiration estimates are based on the Penman-Monteith method, where the surface resistance for water vapour transfer is assumed to have a fixed seasonal pattern.

The inconvenience in using the concept of PET is that it doesn't realistically account for conditions where the surface resistance for water vapour transfer has increased due to drought. Although AET will be reduced due to drought the measured PET is subject to increase during dry periods because the water vapour deficit of air is increased. To obtain realistic estimates of the soil moisture it has proven desirable to gain information also about AET for various types of terrains and cultivated crops.

Routine determination of AET, in a long term, is feasible only with reliable and weather proof monitoring equipment that require minimum of attendance and maintenance at the site. Automated weather stations equipped with appropriate sensors could be used for this purpose. These autostations should also be located on a relatively homogeneous terrain, for example, on an relatively extensive agricultural field. One approach to estimate AET is to apply the measurement of the skin surface temperature of the evaporating surface in addition to the standard meteorological data.

2. Theory

2.1. The aerodynamic surface temperature method

To obtain a working formula for AET we first consider the heat balance of the soil surface. The surface either absorbs or emits a net amount (R_n) of electromagnetic energy. When absorbed this energy is converted into heat. The absorbed heat is further conducted into the soil as soil heat flux (G) and transported into the air as sensible (H) and latent (LE) heat. A small amount of heat can temporarily be stored in the vegetation layer, but for most agricultural crops this component can be neglected. For practical purposes the heat balance can then be written as

$$R_n = G + H + LE \quad (1)$$

The efficiency of the transport of sensible and latent heat may be characterised with a single parameter, namely the turbulence transfer coefficient (h), which is used to connect the flux of an entity to the vertical concentration gradient within a vertical distance z of that entity. For the sensible heat flux we have

$$H = \rho c_p (T_o - T_z) h_{Hz} \quad (2)$$

where ρc_p is the thermal heat capacity of air, T_o is the skin surface temperature and T_z is temperature at height z (usually the screen height 2m) above the ground.

The transfer coefficient h_{Hz} for heat between the effective canopy height and height z is mainly dependent on the stability of air, height of the roughness elements and wind speed. Empirical algorithms

to calculate h_{Hz} are well documented in the litterature (see eg. Brutsaert, 1982 or Launiainen, 1983).

Then latent heat flux, using eq. (1) and (2) will now be

$$LE = R_n - G - \rho c_p h_{Hz} (T_o - T_z) \quad (3)$$

The difference in temperature between the air and the evaporating surface is strongly dependent on R_n , but it also reflects the moisture conditions at the surface. For a bare soil: the dryer the surface the less cooling due to evaporation. For a vegetated surface: when stomata close e.g. due to increase in soil moisture deficit transpiration is reduced resulting in increase of the leaf temperature and vice versa. The calculation procedure introduced by eq. (3) will here be designated as the aerodynamic surface temperature (AST) method.

Application of eq. (3) for automated monitoring of evaporation may look straight forward since the quantities R_n , G , T_o and T_z are directly measurable and the theory for solving h_{Hz} exists. Complications will, however, arise, because calculation of h_{Hz} is based on empirical formulae which are specific e.g. for the type of crop and the phase of crop development. Empirical adjustments to correct for the surface types have been reported for open water (Launiainen, 1983), arid terrain with sparse vegetational cover and homogeneous fully crown wheat crop (Kustas et. al., 1989)

For this study we have initially tested eq. (3) with the standard formulae by (Launiainen, 1983) to calculate h_{Hz} . At further stages of the study different stages of crop development will be analyzed to better account for the evapotranspiration from a multilayered source for water vapour.

2.2. The Bowen ratio method

Another way to solve the latent heat flux from eq. (1) is to use the so called Bowen ratio $\beta = H/LE$ and thus

$$LE = (R_n - G) / (1 + \beta) \quad (4)$$

It can be shown that $\beta = \gamma \Delta T / \Delta e$, where γ is the psychrometric constant, ΔT and Δe the vertical temperature and water vapour pressure

gradients, respectively, above the surface within a distance of the order of 1 m. This approach, here called the Bowen ratio (BR) method, has often been used for reference because it is physically sound and the calculation doesn't include empirical factors. One must, however, be aware of the assumption of equality of heat and water vapour transfer coefficients when interpreting the data obtained by the BR method (Tanner, 1960). The difficulty in accurately measuring the temperature and water vapour gradients limits the use of this method for research purposes mainly.

3. Experiments

Experiments were carried at two sites, an energy peat production area at Höystönsuo (61°55'N, 26°07'E) during years 1988 and 1989 and an oats field at Jokioinen Observatory (60°49', 23°30') during 1989. Nearly continuous data recordings were obtained over the summer months in 1989.

To measure skin surface temperature we used IR-thermometers with two viewing angles, 15° and 60°. Emissivity was assumed to be constant at 0.98 for the vegetation covered and the bare ground. Deviations from this value during the different phases of crop development were expected to be small. For a partial crop cover (oats crop at an early vegetative phase) we further assumed that the IR-thermometer will see plants and bare soil approximatively in the same proportion as the two surfaces contribute to the gross evapotranspiration. For a complete green canopy the surface seen by the thermometer, placed a few meters height above ground, will depend on the zenith angle. It was assumed that pointing the thermometer at an 45° angle would give a representative estimate of the evaporating top leaf layer. No significant dependence on the azimuth angle of the IR-thermometer was detected.

Net radiation was measured with a rigid dome net radiometer. Approximative values of R_n may also be obtained, for instance, by measuring short wave global radiation and reflected radiation with pyranometers and applying empirical correction factors. Pyranometers suit better for unattended remote sites.

The soil heat flux was measured directly with a heat flux plate placed at 10 cm depth. The heat storage in the top soil layer was measured with a four point thermocouple placed at 5 cm depth.

Air temperature and relative humidity (RH) was measured with an electrical temperature-humidity probe. The sensor was placed at 2m height above ground in a radiation shield. It is noticeable that the measurement of RH is not required in the AST-model to obtain AET. In these experiments RH was used as one parameter to calculate PET. Wind speed and direction was measured with a cup anemometer and wind vane.

Temperature and absolute humidity gradient data for the calculation of Bowen ratio was measured with a system available from Campbell Scientific Ltd., UK. All measured data was recorded with a Campbell Scientific data logger, model 21XL. To obtain stable results an averaging interval of 20 min was used.

4. Results

Preliminary results of the evaporation comparison between the AST-model and the Bowen ratio method were at the preparation of the this paper available for bare soil (Fig. 2) and for or emerged oats vegetation with partial soil cover (Fig. 3). The relatively good agreement between the Bowen ratio and the AST methods is consistent for the data presented for the peat production field at Höystösensuo and for the vegetative oats crop. It can be seen in Fig. 3 that the Bowen ratio fails to produce realistic data during the morning and evening hours when $\beta \approx -1$. We initially concluded that the AST-model works fine for bare soil and for short vegetation without modification of the basic formulae to calculate h_{Hz} .

In the next phase of the study attention will be given to the heat balance data obtained during the mature and senescence phases of oats development. During these phases modifications in the calculation routine of h_{Hz} will be needed due to the different vertical distribution of the sources for heat and evaporating water.

Along with monitoring of the heat balance simultaneous measurements on soil moisture profiles were obtained to construct models for

irrigation management and to carry further research on the water movement in the soil-plant-atmosphere system.

5. Summary

Recently, reliable and relatively low cost infrared temperature sensors have become available, allowing the practical determination of sensible and latent heat fluxes over homogeneous terrains. The appropriate micrometeorological theory uses the energy balance and aerodynamic equations to calculate actual water loss from the surface. Automated weather stations can be equipped to monitor actual evaporation in stead of using lysimeters or other sophisticated research methods that require great care and maintenance.

Routine estimates of site-specific actual evapotranspiration for different crops is essential for the study of the water balance of soil and plants. Obtained from many locations at representative sites this information, together with the standard meteorological data could also be used in real time by the information systems that serve the farmer.

6. References

- Brutsaert, W. 1982: Evaporation in to the Atmosphere, Theory, History and Applications. Reidel, Dordrecht, Holland, 299 pp.
- Kustas, W.P., B.J. Choudhury, M.S. Moran, R.J. Reginato, R.D. Jackson, L.W. Gay, H.L. Weaver, 1989: Determination of sensible heat flux over sparse canopy using thermal infrared data. Agric.For. Met., 44, 197-216.
- Launiainen, 1983: Parametrization of the water vapour flux over a water surface by the bulk aerodynamic method. Annales Geophysicae, 6, 481-492.
- Tanner , C.B., 1960:. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. Soil Sci.Soc. Am.Proc., 24, 1-9.

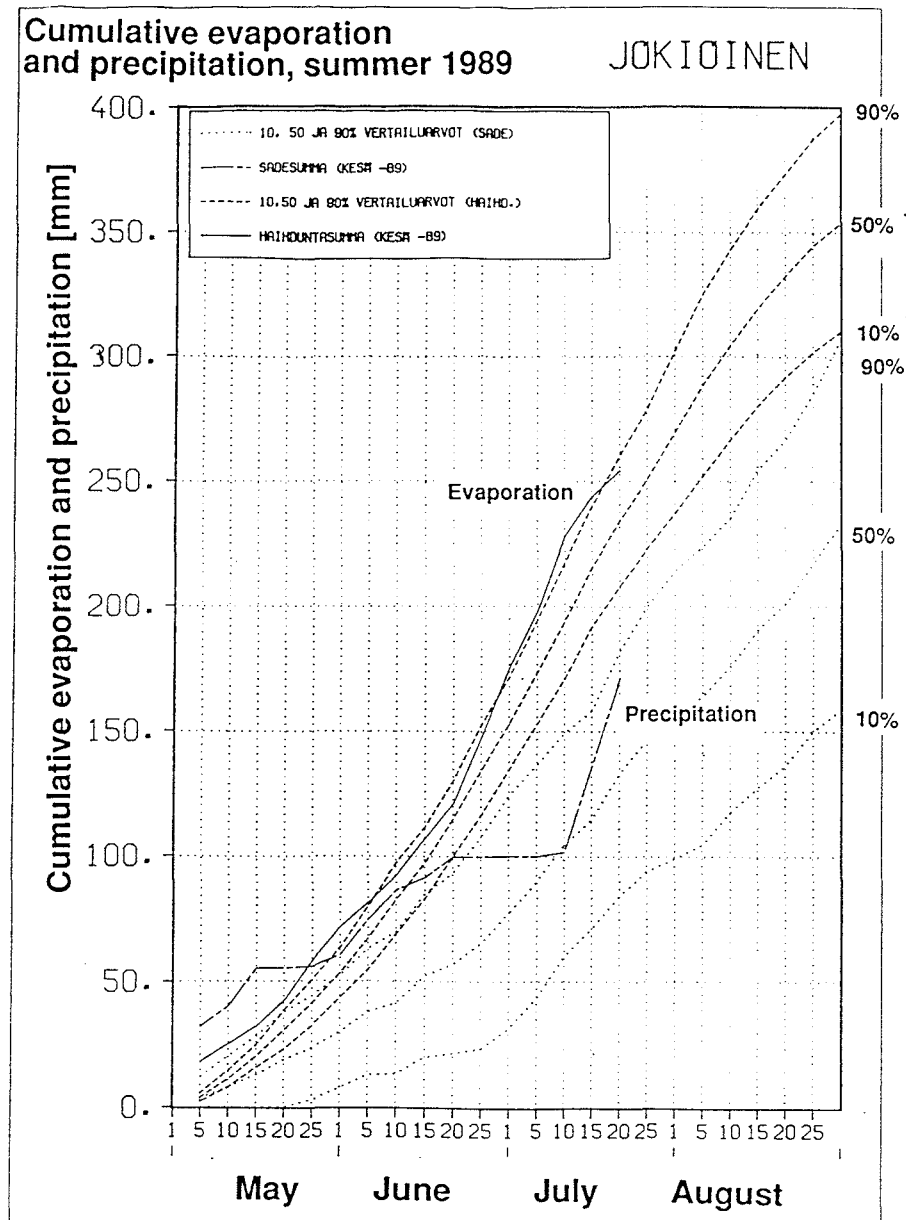


Figure 1. Cumulative potential evaporation and precipitation (mm) at Jokioinen Observatory for the growing season in 1989. Three curves from the climatological frequency distribution (10%, 50% or 90% probability for a lower value) for precipitation (dotted lines) and potential evaporation (dashed lines) are shown for reference.

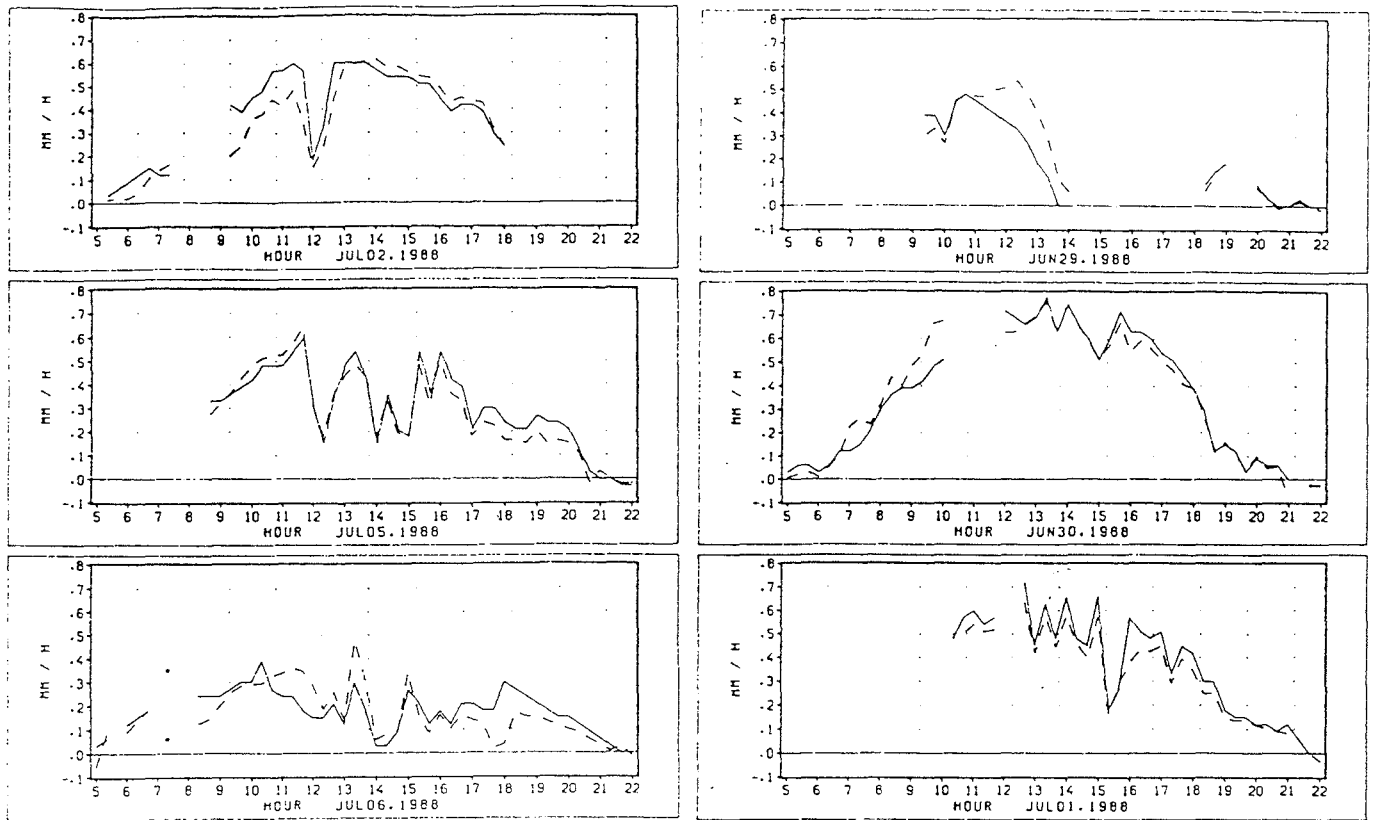


Figure 2. Comparison of evaporation estimates (mm/h) obtained by Bowen ratio method (dashed line) and an Aerodynamic- surface temperature method (solid line) over a bare peat production area, Höystösensuo 1988.

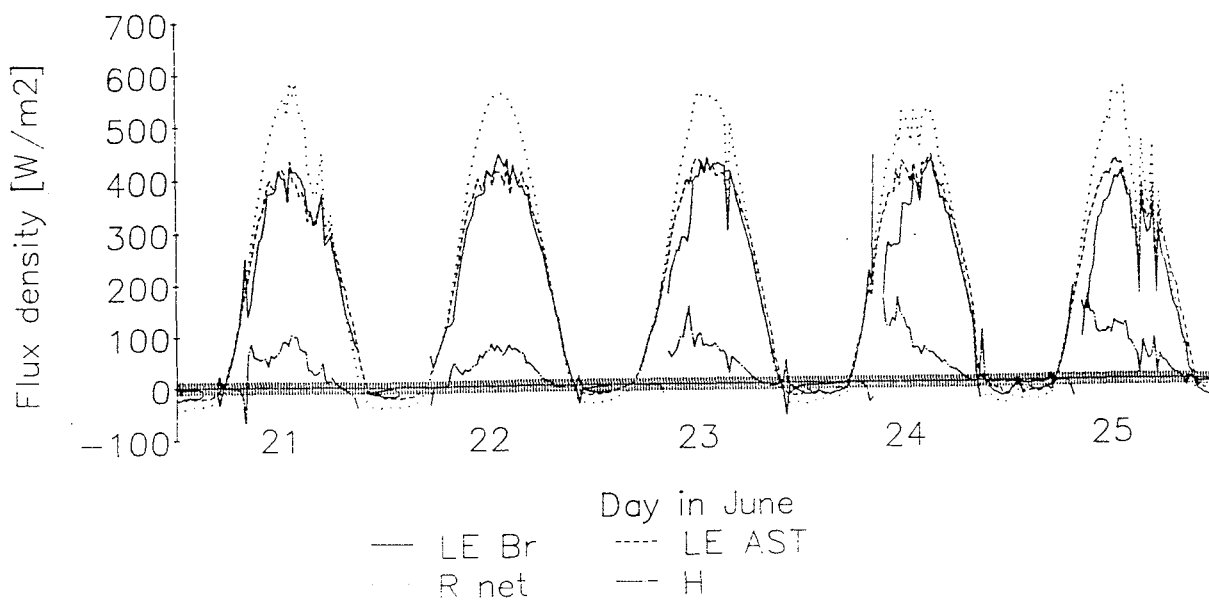


Figure 3. Measurements of net radiation (R_n), sensible heat (H) and evapotranspiration (W/m^2) over a 30 cm high oats crop in Jokioinen 1989. Evapotranspiration was obtained by Bowen ratio (LE BR) and Aerodynamic surface temperature (LE AST) methods for comparison.

Forsker Hugh Riley
Kise forskingsstasjon
N-2350 Nes på Hedmark, Norge

VALG AV VANNINGSSTRATEGI TIL ULIKE VEKSTER: KORN, POTET, GULROT
OG LØK: VIRKNING PÅ AVLINGSNIVA, VANNFORBRUK OG AVRENNING

S a m m e n d r a g

1. Studier av morenejordas vannholdende evne og plantenes vannopptak fra ulike dybder tyder på at rotsonen som regel har en kapasitet som ligger i området 70 til 110 mm plantetilgjengelig vann.
2. Det er utarbeidet regresjonsmodeller som tillater beregning av relativ avling, vanningsmengder og tap til avrenning ved ulike vanningsstrategier til korn, potet, gulrot og løk.
3. Modellene er anvendt til beregninger for dyrking på morenejord med ulik kapasitet for tilgjengelig vann, med utgangspunkt i 25 års data for nedbør og fordamping på Kise.
4. Middelutslagene ved den hyppigste vanningsstrategien på jord med 110 mm tilgjengelig vann er omkring 20% for potet og gulrot, og 12% for både korn og løk. Motsvarende tall ved 70 mm lagringskapasitet er omkring 40% for potet og gulrot og 30% for korn og løk.
5. Uten vanning er avlingene hos alle fire vekster mer enn 95% av det maksimale som kan oppnås ved vanning i omtrent halvparten av alle år på jord med 110 mm tilgjengelig vann, og i omtrent en tredel av alle år på jord med 70 mm tilgjengelig vann.

6. På jord med 70 mm tilgjengelig vann gir mangel på vanning mer enn 25% avlingstap i forhold til hyppig vanning, i 36% av alle år. På jord med 110 mm tilgjengelig vann er tallene 28% for potet, 20% for gulrot og bare 12% for korn og løk.
7. En vanningstrategi som går ut på å vente med vanning til halvparten av det tilgjengelige vannet er oppbrukt, gir i gjennomsnitt et avlingsnivå hos alle vekstene som ligger innen 3-5% av det maksimale.
8. Vanning når halvparten av vannet er oppbrukt i tidlige vekststadier, og senere når tre firedeler er oppbrukt, halverer vanningsmengdene som er nødvendig, og reduserer avrenningstapene tilsvarende, relativt til hyppigere vanning.

I n n l e d n i n g

Tidligere vanningsforsøk ved Kise forskingsstasjon har klarlagt i hvilke utviklingsstadier en lang rekke vekster er mest ømfintlige for tørke. Derfor vet vi idag mye om når det kan lønne seg å vanne ulike vekster, dersom tørken inntreffer. Større usikkerhet er det imidlertid om hvor stort et nedbørunderskudd skal være før det er snakk om "tørke".

Det er rimelig at svaret på dette spørsmålet vil variere, både med jordart og med den aktuelle vekstens rotdybde. En alminnelig antakelse har vært at plantene kan bruke inntil halvparten av den vekst-tilgjengelige vannmengden i rotsonen før det er nødvendig med vanning. For å kunne vurdere lønnsomheten av vanning over en årrekke, er det nødvendig med en oversikt over hvor ofte slike underskudd forekommer.

Dette innlegget tar for seg undersøkelser av disse spørsmålene for vekstene korn, potet, gulrot og løk, dyrket på morenejord.

B a k g r u n n o g m e t o d e r

For å måle vekstenes reaksjon på ulik uttørkingsgrad, er det utført forsøk på et representativt morenejordsfelt på Kise. Forsøket omfattet tre sesonger for bygg, hvete og potet, og to sesonger for gulrot og løk. Ulik uttørking ble sikret ved skjerming av småruter fra nedbør og gjennom vanning med ulike vannmengder.

Det ble utarbeidet regresjonsmodeller for avlingsutslagene (relativt til et forsøksledd med hyppig vanning) ved hjelp av en "tørke-indeks" som bestod av den relative fordampinga som fant sted i ømfintlige vekststadier. Med relativ fordamping menes forholdet mellom aktuell og potensiell fordamping (E_a/E_p). Sistnevnte ble målt fra fri vannflate (Thorsrud 2500) mens førstnevnte ble beregnet ved hjelp av en modell som tar hensyn til plantenes utviklingsforløp og jordas vannholdende evne og uttørkingsgrad. Modellen er gyldig for jord med ubetydelig tilførsel av vann fra dypere sjikt.

Såvel feltforsøket som beregningsmetoder er beskrevet i mer detalj av Riley (1989).

H o v e d t r e k k v e d r e g r e s j o n s m o d e l l e n e

Korn var mest følsom for tørke i perioden 4 til 6 uker fra spiring. Dette faller sammen med busking og begynnende strekningsvekst. Perioden fram til avsluttet aksskyting (10 uker fra spiring) var også viktig, men i langt mindre grad. En felles ligning er brukt her for bygg og hvete, selv om både denne og andre undersøkelser har vist en noe større respons til tørke hos hvete enn hos bygg.

Til potet ble det valgt en modell som viser samme følsomhet for tørke gjennom hele vekstsesongen fra 4 til 14 uker fra spiring. Dette har sin bakgrunn i at hos denne veksten kan tørke på et tidlig tidspunkt kompenseres ved god vanntilgang senere, forut-

satt lang nok veksttid. Til tidlig potet ville det trolig være viktig å inkludere også den tidlige vekstfasen i modellen.

Gulrot var alene om å vise et utviklingstrinn hvor god vanntilgang ga negativt avlingsutslag. Dette gjaldt den tidlige vekstfasen (1-4 uker fra spiring), og er i overensstemmelse med tidligere erfaring på Kise (Dragland 1978). Resten av vekstsesongen ble delt i to perioder (5-8 og 9-16 uker fra spiring), med tiltakende tørkefølsomhet.

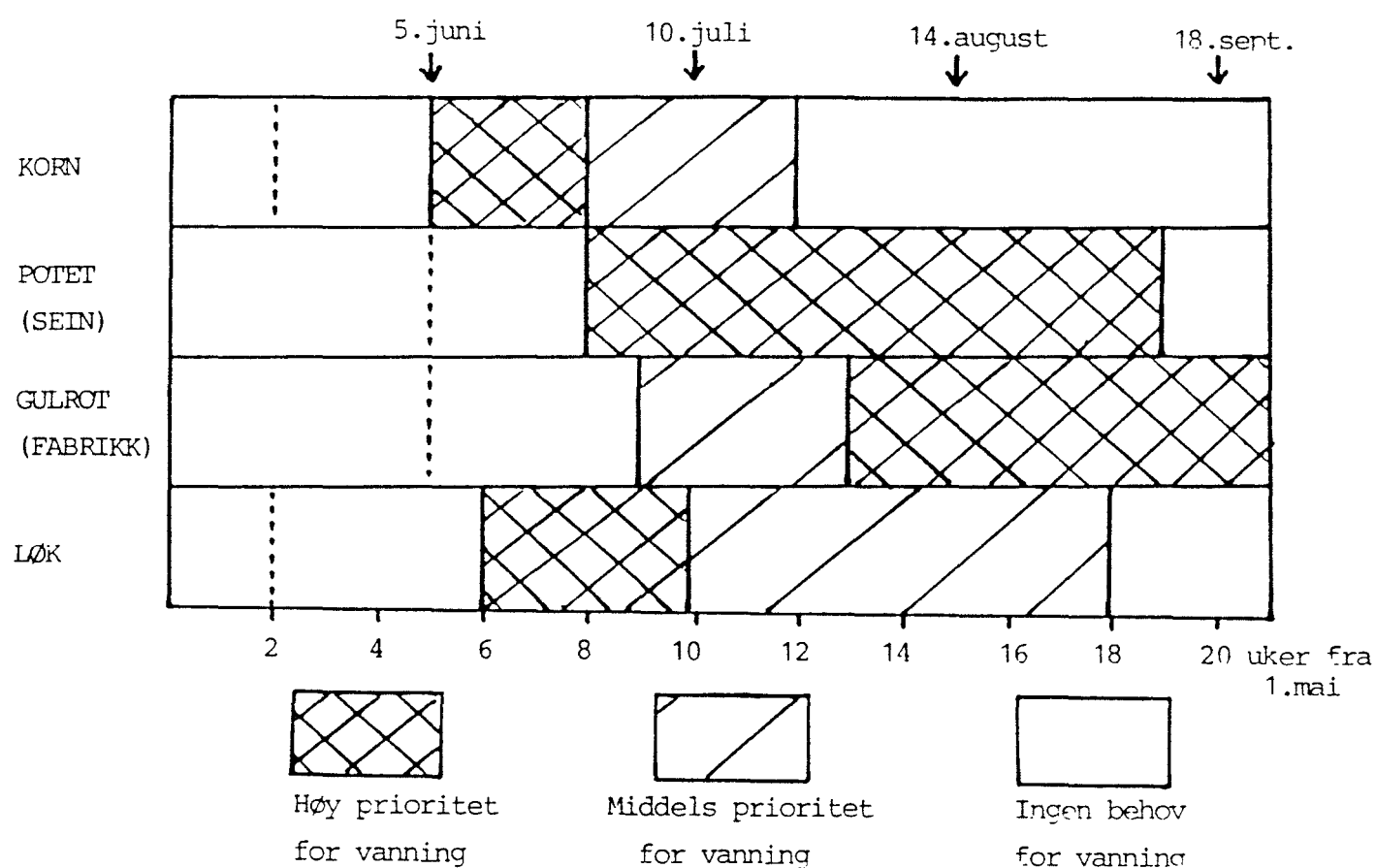
Løk viste størst følsomhet for tørke i perioden 7 - 10 uker fra planting. Bladveksten er stor i denne perioden, og det er kjent at både tørke og høy temperatur kan medvirke til for tidlig løkdanning. Resten av vekstsesongen (11 - 18 uker fra planting) var inkludert i modellen, men med en betydelig mindre følsomhet.

Ut fra disse modellene er prioriteten for vanning av disse vekstene vist i figur 1, forutsatt lik så-/settetid og et normalt utviklingsforløp.

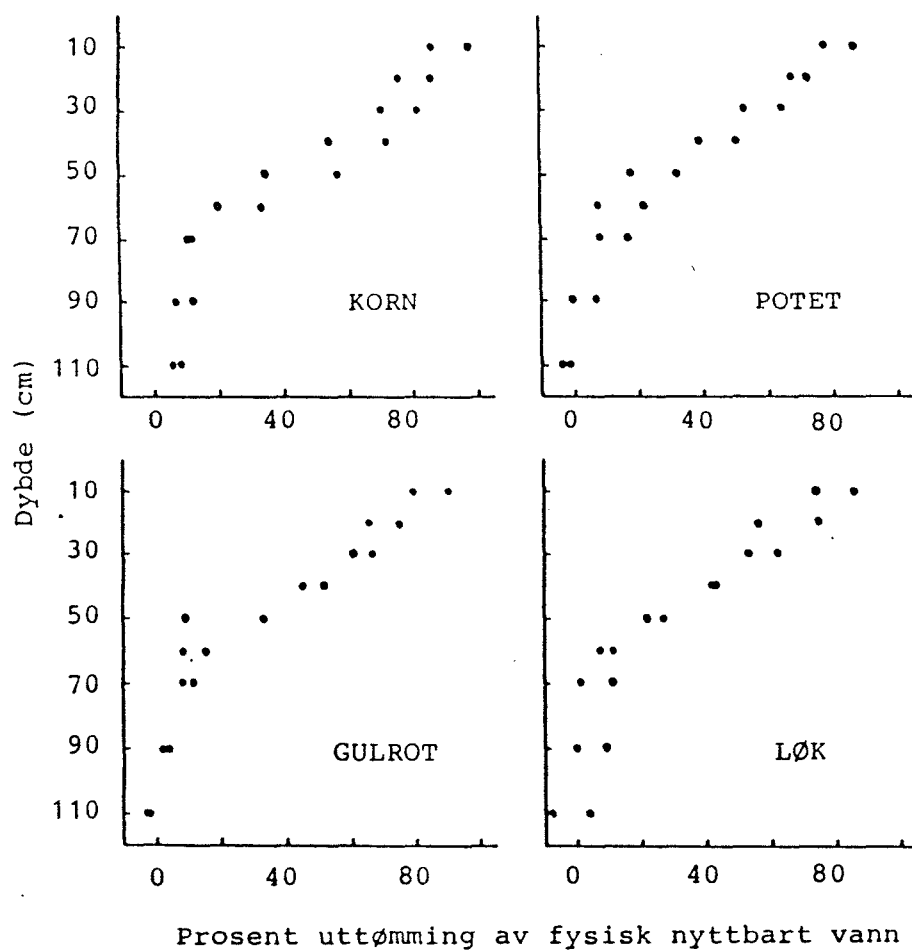
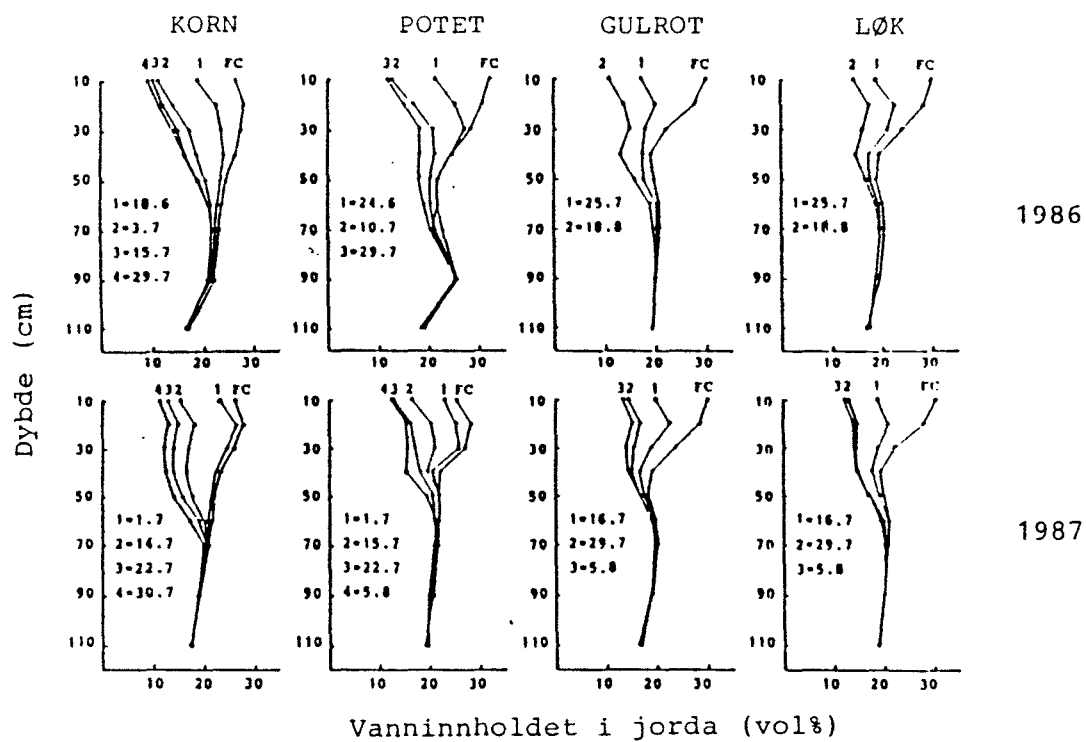
T i l g j e n g e l i g v a n n m e n g d e i m o r e n e j o r d

Målinger i denne og andre undersøkelser på morenejord har vist at det skjer lite vannopptak fra større dybde enn 60 cm (figur 2). Andelen av det fysisk-nyttbare vannet som plantene kan benytte avhenger av rottettheten. I danske undersøkelser (Madsen & Platou 1983, Andersen 1986) er andelen funnet å synke til omtrent 20-25 % ved en rottetthet av 0,1 cm/cm³. For morenejord i Norge svarer det omtrent til den såkalte "lett-tilgjengelig" vannmengden som er lagret mellom pF 2 og pF 3.

På bakgrunn av observasjoner av rotmengden og målinger av vannopptak fra ulike sjikt, synes det realistisk å regne med at alt vann fra pF 2 til pF 4,2 er tilgjengelig i dybden 0 - 40 cm, mens for dybden 40 - 60 cm er det bare det vannet som er lagret fra pF 2 til pF 3 som bør tas med. På forsøksfeltet som ble brukt i denne undersøkelsen utgjør dette tilsammen 95 mm, mens



Figur 1. Skjematisk framstilling av når det er aktuelt å vanne ulike vekster dersom det er tørt. Starten av bladveksten er vist med stiplet linje. Figuren gjelder for normale forhold i Mjøsdistriktet.



Figur 2. Jordfuktighetsprofiler i tørkeperioder (øverst) og andelen av fysisk nyttbart vann som plantene har tatt opp (nederst).

for morenejord generelt kan man forvente en spredning fra omtrent 70 til 110 mm (Riley 1979 og upubliserte data).

B e r e g n i n g e r v e d u l i k e s t r a t e g i e r

Beregninger er gjort av relative avlinger ved ulike vanningsstrategier, ved hjelp av værdata (potensiell fordamping og nedbør) for en 25-års periode på Kise (1963 - 1987). Strategiene som er sammenlignet omfatter vanning ved følgende underskudd, uttrykt som prosent av tilgjengelig vannlagringsevne:

Strategi	Første tørkefølsom vekststadium	Annet tørkefølsom vekststadium
I	25	25
II	25	50
III	50	50
IV	50	75
V	75	75

For potet, som har lik følsomhet for tørke fra 4 til 14 uker etter oppkomst, er det vilkårlig skilt mellom et tidlig vekststadium (4 til 8 uker) og et senere stadium (9 til 14 uker).

Vannbalansen er beregnet på døgnbasis med start ved snøsmelting om våren (ca. 14. april) fram til 30. september. Jorda er antatt å være ved feltkapasitet ved start hvert år. Verdier for spiredato og utviklingshastighet representerer gjennomsnittsforhold i Mjøsdistriktet (dvs. start av bladvekst ca. 15. mai for korn og løk, og ca. 5. juni for potet og gulrot).

Ut fra disse datoene, forutsetter modellene at vanning er aktuell, dersom kravet til underskudd blir oppfylt, i periodene 6. juni til 24. juli for korn, 27. juni til 11. september for potet, 4. juli til 25. september for gulrot og 13. juni til 4. september for løk.

Tabell 1. Beregnete avlingsutslag, aktuell fordamping, vanningsmengder og avrenning ved ulike vanningsstrategier. Tallene er middelverdier for 1963-1987 ved Kise forskingsstasjon. Beregningene er gjort for en jordart med 90 mm tilgjengelig vann.

	Strategi ¹	KORN	POTET	GULROT	LØK
Relativ avling%	I	100.0	100.0	100.0	100.0
	II	99.8	99.3	99.0	99.8
	III	97.1	98.4	96.6	95.1
	IV	96.8	96.6	94.0	94.7
	V	90.9	94.0	90.9	89.9
	Uvannet	84.2	77.8	78.0	85.0
Aktuell fordamping (mm, mai-sept.)	I	288	291	275	296
	II	287	290	273	294
	III	285	289	272	291
	IV	281	287	270	288
	V	278	284	267	284
	Uvannet	260	264	256	265
Vanningsmengder (mm)	I	89	105	84	110
	II	77	91	69	88
	III	67	71	62	76
	IV	49	56	51	53
	V	38	50	36	47
Avrenning (mm, mai-sept.)	I	120	131	129	130
	II	110	121	118	112
	III	101	101	113	104
	IV	89	91	105	86
	V	82	87	91	83
	Uvannet	68	71	81	69

Tabell 1. forts.

¹) Underskudd før vanning (mm)

Strategi	Første vekststadium	Annet vekststadium
I	22,5	22,5
II	22,5	45
III	45	45
IV	45	67,5
V	67,5	67,5

Ved siden av relativ avlingsstørrelse, er det for hver strategi beregnet aktuell fordamping, vanningsmengden og avrenningstapet. Videre er det satt opp frekvenstabeller over antall år med avlingsutslag i ulike grupperinger.

R e s u l t a t e r i m i d d e l a v a l l e å r (tabell 1)

For jord med 90 mm tilgjengelig vann, gir den mest intensive vanningsstrategien (strategi I) ca. 28 % avlingsøkning hos potet og gulrot, og ca. 18 % avlingsøkning hos korn og løk. I praksis vil denne strategien forutsette et uoverkommelig antall vanninger (5 til 10 ganger) i tørre år. Det ligger derfor gevinster i både spart arbeid, spart vann og mindre fare for avrenning ved å velge en annen strategi.

Vanning ved et underskudd av 45 mm i første vekststadium og ved 67 mm i annet vekststadium (strategi IV) reduserer vannbehovet til nesten halvparten og avrenningstapet til en fjerdedel av det som strategi I fører til. Samtidig ser avlingene ut til å holde seg på et relativt høyt nivå ved en slik praksis (ca. 3 % og 6 % under det maksimale for h.h.v. korn/potet og gulrot/løk).

A r s v a r i a s j o n e r i v a n n i n g s u t s l a g

(tabeller 2 og 3)

I nesten halvparten av de 25 åra som er undersøkt, er det for alle vekstene et avlingsnivå uten vanning som er høyere enn 95 % av det som oppnås ved den hyppigste vanningsstrategien. På jord med 90 mm tilgjengelig vann, forekommer større avlingstap enn 25 % i mangel av vanning omtrent ett år i tre hos potet og gulrot, ett år i fire hos korn og ett år i fem hos løk.

Valget av vanningsstrategi vil variere i noen grad med forholdene i enkeltåret. Likevel får man selv i "tørkeårene" nesten like godt resultat av å vente med vanning til 50 % uttørking (strategi III) som ved hyppigere vanning. Hos korn og potet kan en trolig

Tabell 2. Prosentfordeling av antall år i ulike grupperinger av avlings-
tap, relativt til vanning hver gang underskuddet overstiger
25% av tilgjengelig vannkapasitet. Beregningene er gjort for
en jordart med 90 mm tilgjengelig vann.

	Strategi ¹	Tap av avlingspotensial			
		<6%	6-15%	16-25%	>25%
KORN	II	100	0	0	0
	III	84	16	0	0
	IV	76	24	0	0
	V	48	20	32	0
	Uvannet	44	20	12	24
POTET	II	100	0	0	0
	III	96	4	0	0
	IV	76	24	0	0
	V	56	32	12	0
	Uvannet	44	24	4	28
GULROT	II	100	0	0	0
	III	80	20	0	0
	IV	56	44	0	0
	V	44	32	24	0
	Uvannet	44	20	8	28
LØK	II	100	0	0	0
	III	48	52	0	0
	IV	40	60	0	0
	V	40	28	20	12
	Uvannet	40	20	20	20

¹) Som i tabell 1.

Tabell 3. Beregnete relative avlinger for ulike vanningsstrategier i år med lav (6-15%), moderat (16-25%) og høy (>25%) reduksjon av avlingspotensial uten vanning. Beregningene er gjort for en jordart med 90 mm tilgjengelig vannkapasitet.

Strategi ¹		KORN	POTET	GULROT	LØK
Ar med svak (6-15%) reduksjon i avlingspotensial	II	99.7	99.4	99.1	99.9
	III	96.7	98.7	95.6	93.9
	IV	96.6	96.9	92.2	93.5
	V	91.2	93.5	90.5	92.0
	Uvannet	89.2	90.2	89.9	91.4
	Antall år	5	6	5	5
Ar med moderat (15-25%) reduksjon i avlingspotensial	II	99.8	100.0	98.8	99.8
	III	97.0	99.4	98.8	92.0
	IV	96.4	99.4	94.1	91.4
	V	84.8	93.7	94.1	83.5
	Uvannet	81.1	83.7	82.1	80.4
	Antall år	3	1	2	5
Ar med sterk (>25%) reduksjon i avlingspotensial	II	99.7	98.5	98.0	99.7
	III	94.7	96.6	94.1	90.9
	IV	94.2	92.1	89.0	90.3
	V	80.0	87.5	79.3	75.7
	Uvannet	55.7	33.7	37.0	55.0
	Antall år	6	7	7	4

¹) Som i tabell 1.

vente enda lenger i det andre vekststadium (strategi IV).

En utsettelse av vanning til 75 % av det tilgjengelige vannet er oppbrukt (strategi V), fører i tørkeår til avlingsnedganger på ca. 12 % for potet og 20-25 % for de andre vekstene, relativt til maksimal avling. Denne strategien gir likevel 40 % økning i korn- og løkavlinger og en dobling av potet- og gulrotavlinger, sett i forhold til situasjonen uten vanning. Under mindre ekstreme tørkeforhold, gir imidlertid ikke en slik vanningsstrategi brukbar gevinst.

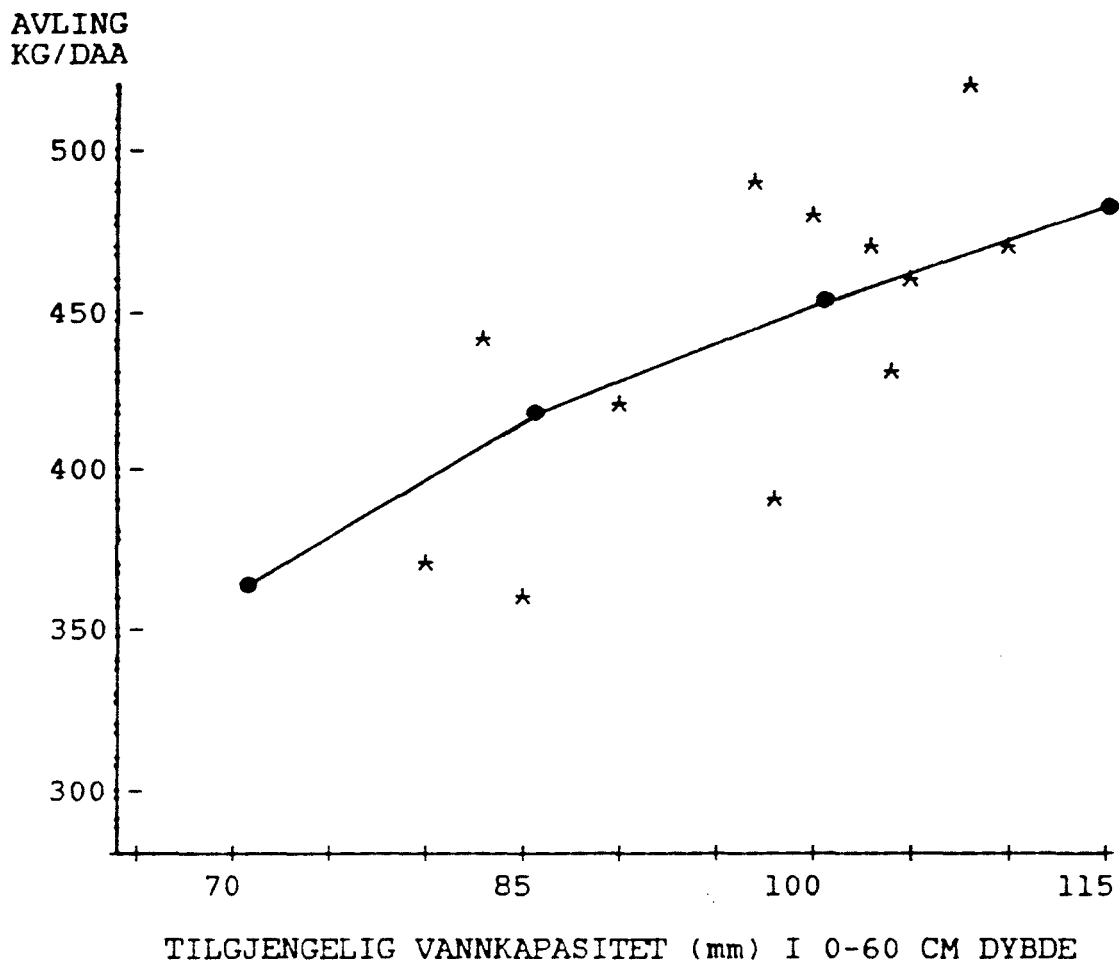
U t s l a g v e d u l i k v a n n l a g r i n g s e v n e

(tabeller 4 og 5)

Mens regresjonsmodellene er utarbeidet på grunnlag av data fra ett felt, kan de også anvendes for jord med større eller mindre vannlagringsevne. En bekreftelse på at slik ekstrapolering gir gyldige resultater er vist for korn i figur 3. Her er beregnete avlinger uten vanning sammenstilt med målte verdier fra et forsøksfelt på Kise som hadde stor jordvariasjon mellom blokkene. De målte verdiene er middel av bygg og havre i tre tørkeår. I beregningene er det forutsatt en maksimal avling på 550 kg/daa, som er trolig realistisk for sortene som ble brukt (Gunilla og Titus).

Beregningene er gjort for alle fire vekster ved to nivå av tilgjengelig vannlagringsevne, 70 og 110 mm, som representerer ytterpunktene for morenejord i Mjøsdistriktet. Avlingsutslagene for to strategier (I og IV) er gitt både som prosent økning i forhold til situasjonen uten vanning og som kg pr. dekar. I forbindelse med sistnevnte er maksimalt avlingsnivå forutsatt på bakgrunn av erfaring med disse vekstene i tidligere vanningsforsøk på Kise (550 kg/daa for korn, 3,5 t/daa for matpotet, 6,0 t/daa for fabrikk gulrot og 5,0 t/daa for kepaløk).

Utslagene ved svært hyppig vanning (strategi I) er dobbelt så store på jord med 70 mm tilgjengelig vannmengde som på jord med



Figur 3. Virkningen av tilgjengelig vannkapasitet i rotsonen på beregnet kornavling uten vanning (●—●), under forutsetning av et potensielt avlingsnivå på 550 kg/daa, og målte verdier (*) fra ulike blokker i et feltforsøk på Kise. Alle data er middel av tre tørkeår (1982,1983 og 1986).

Tabell 4. Beregnete avlingsutslag ,vanningsmengder og avrenning ved to vanningsstrategier på jord med ulik kapasitet for tilgjengelig vann (70 mm og 110 mm). Tallene er middelerverdier for 1963-1987 ved Kise forskingsstasjon.

Tilgj.vann			KORN		POTET		GULROT		LØK	
Strategi ¹			I	IV	I	IV	I	IV	I	IV
Avlings- utslag	70 mm	%	32	28	40	35	44	36	26	21
		kg/daa	132	115	1000	880	1850	1500	1050	810
	110 mm	%	12	9	21	17	19	12	12	7
		kg/daa	58	42	610	510	970	620	550	290
Vannings- mengde (mm)	70 mm		93	58	106	74	91	51	115	71
	110 mm		80	35	95	55	76	36	102	50
Avrenn- ingstap ² (mm)	70 mm		53	26	59	34	52	21	64	30
	110 mm		45	14	52	23	40	13	57	19

¹) I = Vanning ved hhv. 17,5 eller 27,5 mm underskudd i alle følsomme vekststadier.

IV = Vanning ved hhv. 35 eller 55 mm underskudd ved det første og ved 52,5 mm eller 82,5 mm i det andre følsomme vekststadium.

²) I tillegg til det som skjer uten vanning.

Tabell 5. Innflytelsen av ulik kapasitet for tilgjengelig vann på prosentfordelingen av antall år i ulike grupperinger av avlingstap uten vanning, relativt til vanning hver gang underskuddet overstiger 25% av tilgjengelig vannkapasitet.

	Tilgj.vann	Tap av avlingspotensial uten vanning			
		<6%	6-15%	16-25%	>25%
KORN	70 mm	32	16	16	36
	110 mm	48	28	12	12
POTET	70 mm	32	16	20	36
	110 mm	56	16	0	28
GULROT	70 mm	24	24	16	36
	110 mm	52	20	8	20
LØK	70 mm	36	16	12	36
	110 mm	52	24	12	12

110 mm. Forskjellen er enda større ved en mindre intensiv vanningspraksis (strategi IV), hos alle vekster unntatt potet. Denne veksten kan, som før nevnt, kompensere for kortvarig tørke så lenge vekstsesongen er lang nok.

Andel år med lite utslag for vanning er omtrent en tredel ved 70 mm tilgjengelig vann, mens noe over halvparten faller i denne gruppen for jord med 110 mm lagringskapasitet. År som kan betegnes som "tørkeår" (> 25 % tap av avlingspotensial) utgjør 36 % for alle vekstene på jord med 70 mm tilgjengelig vann. For jord med større lagringskapasitet (110 mm) er motsvarende tall bare 12 % for korn og løk, 20 % for gulrot og 28 % for potet.

Det er forholdsvis små forskjeller i vanningsmengdene og avrenningen beregnet for jord med ulik lagringskapasitet, sammenlignet med forskjellene i disse størrelsene som er beregnet ved ulik vanningsstrategi.

L i t t e r a t u r

- Andersen, A. 1986. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie, beretning nr. S1827, 90s.
- Dragland, S. 1978. Forsk.fors.landbr. 29: 139-159.
- Madsen, H.B. & S.W. Platou 1983. Nordic Hydrology: 267-276.
- Riley, H. 1979. Forsk.fors.landbr. 30: 379-398.
- Riley, H. 1989. Norw.Journal Agric. Sci. 3: nr. 2: 117 - (under trykking).

Tuomo Karvonen
University of Helsinki
Department of Plant Husbandry
00710 Helsinki, Finland

COMPUTATION OF CROP WATER BALANCE:
MICROCOMPUTER BASED PROGRAMS FOR TEACHING AND RESEARCH

I n t r o d u c t i o n

There is almost a continuous - during the daytime - flow of water from the soil to the roots of the plants and from the roots through the stem to leaves and through stomatas to the atmosphere. Flow of water in this Soil-Plant-Atmosphere-Continuum (SPAC) is driven by the difference in potential between soil and plant and plant and atmosphere. Generally there exist a decreasing potential from the soil to the atmosphere (see Fig. 1) and flow rate is affected by resistances in various parts of the pathway. The primary goal of this paper is to briefly present simulation programs that can be used to analyze the relationship between the water balance of plant and soil and the resistances of this pathway. The most important resistance affected by plant water potential is stomatal resistance and soil water potential has influence on the resistance between soil and root.

CO₂-assimilation is closely related to leaf transpiration rate through the simultaneous flow of water vapour through the stomata to the atmosphere and CO₂-flow from the atmosphere to the leaf. On the other hand, leaf transpiration is affected by leaf water and heat balance which in this way have influence on the net photosynthesis rate. The water status of the leaf has a pronounced effect on the stomatal conductance of the leaf.

The simulation models have been developed with three primary objectives in mind. Firstly, the models will be used in teaching the very complex chain where water is moved from the soil to the atmosphere, and at the same time, CO₂ is diffused through the stomata to the leaf. Secondly, the

model can be used as a research tool to lead to new ideas for experimentation, and to provide a link between plant physiology in the laboratory and problems in the field. Thirdly, the model could be used by researchers in analyzing their own field data. Being simple to use, the models are suitable for those who have not time to develop their own models and/or are not experienced in using simulation models. The main emphasis has been to develop so called interactive computer programs, which are easy to use, include various type of help facilities and have possibility to show results in graphical form.

Water movement in Soil-Plant-Atmosphere-Continuum

Water movement in the plant can be considered to be driven by differences in water potential and flow is restricted by some resistances within the system. Water will flow from a point of high water potential to the direction of decreasing water potential. In the soil-plant-atmosphere system the water potential in a well-watered soil may be on the order of -0.01 MPa (equivalent to -100 cm or pF 2). In plant leaves midday values of the water potential are generally around -0.5 ... -2.5 MPa (-5000 ... -25000 cm). In the air the water potential is very low (-30 ... -100 MPa depending on vapour pressure deficit of the air). Comparison of these potentials show that generally there is a continuous stream of water from the soil to the plant and from plant to the atmosphere. The magnitude of flow is influenced by resistances at various parts (see Fig. 1): from the soil to the plant roots, from the roots to the leaves (plant resistance), from the intercellular spaces to the atmosphere (stomatal and boundary layer resistances).

Description of the computer programs

Various type of computer programs have been developed mainly to be used as research and educational tools. The value of mathematical models depends on the nature of the problem. Some points of general significance are given below:

- modeling can stimulate new ideas and experimental approaches

- the use of a computed model can help in pin-pointing the

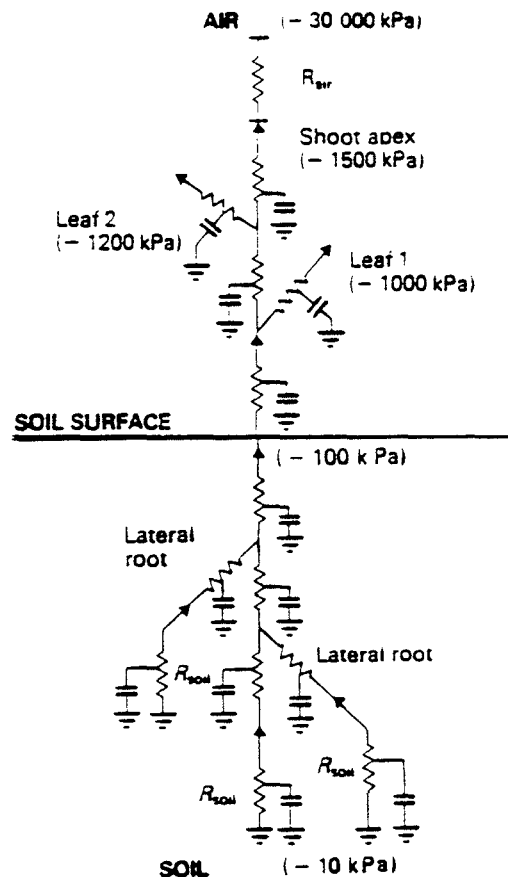


Fig 1. Pathway of water movement from soil to air through a plant showing resistances encountered in soil, root, stem, leaf and air. The capacitors represent the storage capacities of soil and plant parts. Figures show hypothetical fall in water potential ($1000\text{ kPa}=1\text{ MPa}$) in various parts of the system (adapted from Sutcliffe, 1979).

areas where knowledge and data are lacking

- models can give a method for interpolation, extrapolation, and prediction
- a succesful model may aid the crop manager in taking decisions
- a convenient data summary is frequently provided by a model
- information of different aspects of plant growth can often be brought together, providing a valuable stimulus to collaboration and teamwork

Brief description of the computer programs developed is given excluding all mathematical equations. The main emphasis is devoted to the input variables needed in the models and to the output variables computed by the simulation programs.

Program 1: CropWP - computation of crop water balance and canopy photosynthesis on a seasonal basis

The purpose of this program is to compute the water balance of the crop including estimation of transpiration and crop photosynthesis over the whole growing season. The effect of soil water content on transpiration and crop photosynthesis is taken into account. This program can be used to predict the need for irrigation when soil type and the meteorological driving variables are known. Soil parameters can be taken based on soil texture as described by Driessen (1986) or pF-curve and hydraulic conductivity function can be measured directly.

The meteorological input variables needed are:

- solar radiation
- air temperature
- precipitation
- relative humidity or vapour pressure deficit (VPD)
- wind speed

The most important parameters needed are:

- crop biomass allocation over various plant organs
- crop light response curve (photosynthetically active radiation versus leaf photosynthesis)
- soil pF-curve and hydraulic conductivity

The program CropWP is capable of computing potential and actual transpiration and photosynthesis rates on a daily basis. Moreover, the soil water content profile can be computed.

The computation of crop water balance is largely based on ideas presented by Federer (1979) and Choudhury and Idso (1985a and 1985b). The computation of canopy photosynthesis resembles very closely the methods presented by Spitters (1986) and Spitters et al. (1986). The models for computation of soil water balance have been described by Karvonen (1988). Unfortunately there exist so far no complete data

set to test the whole program. The Department of Plant Husbandry (University of Helsinki) is collecting all the material needed to test this model. The first data set will be available from the growing season of year 1989.

Program 2: CropWPN - computation of crop water balance and canopy photosynthesis as influenced by soil nitrogen balance

This program includes the effect of soil nitrate and ammonium balance on crop nitrogen uptake and on crop photosynthesis. The computation of soil nitrogen balance is based on ideas presented by Johnsson et al. (1987) and Villholth and Høgh Jensen (1988). The primary goal of this model is to lead to new ideas in experimentation.

Program 3: LeafWHP - computation of leaf (crop) water and heat balance and leaf photosynthesis over short intervals

The purpose of this program is to compute leaf or crop water and heat balance over short intervals, usually one day. The inflow rate of water to the leaf layer is dependent on the uptake of water, U , by plant roots. The outflow is equal to the transpiration rate, E , of the leaf. The difference between inflow and outflow rates is equal to the change in water content of the leaf, V . Physically V can be interpreted to be an amount of readily exchangeable water in the plant per unit area of the soil. V has the maximum value when the leaf is fully turgid and the minimum value when the leaf is flaccid. For short intervals the uptake of water can be greater, equal to or smaller than the transpiration rate E .

Stomatal resistance is under the control of the degree of opening of the stomata. If the leaf is suffering from dryness, i.e. relative water content is low, the stomata are at least partly closed to prevent the wilting of the leaf. Therefore, it is obvious that the stomatal resistance is related to relative water content of the leaf (RWC). Stomatal resistance must also be partly dependent on leaf water potential ϕ_l at least when ϕ_l is low.

In many recent publications is given an idea that the stomatal resistance r_s can be a function of the water vapour pressure deficit, VPD, air temperature T_a , leaf temperature T_s and water potential in the soil ϕ_s (e.g. Hsiao, 1973;

Szeicz et al., 1973; Federer, 1979; Jarvis and Morrison, 1981; Avissar et al., 1985; Hari et al. 1986). However, all these factors - VPD, T_a , T_s (e_s) and ϕ_s - are very closely related to each other via leaf water and heat balance. For example, if the T_a is increased due to high solar radiation, VPD increases and the transpiration would be increased if the stomatal resistance would not change. However, because E would probably be larger than U , it means that the relative water content RWC would be lowered and this would have influence on the leaf water potential (decrease in ϕ_l). Decrease in RWC (or ϕ_l) tend to cause a partial closure of stomata and increase in r_s . Increase in r_s diminishes the transpiration rate. It can be easily seen that the effect of one single factor - e.g. VPD - on stomatal resistance cannot be isolated from the influence of other factors.

The program LeafWHP is aimed to be used in analyzing the very complex system of leaf water and heat balance. The meteorological input data needed is the same than for program 1 (CropWP). Moreover, if measurements of leaf (canopy) temperature, leaf water potential and soil water potential are available, LeafWHP can utilize this type of data (e.g. to test the validity of some hypothesis).

Summary

Several type of simulation programs aimed to be used in teaching and as research tools have been developed at the Department of Plant Husbandry. The programs have proved to be easy to use and the capability to show the results immediately in graphical form makes it easier for the user to check that the input data is correct. The collection of data needed to test the models was started at the beginning of the growing season 1989.

References

- Avissar, R., Avissar, P., Mahrer, Y. and Bravdo, B. A. (1985). A model to simulate response of plant stomata to environmental conditions. *Agric. and Forest Met.*, 34, 21-29.
- Choudhury, B.J. and Idso, S.B. (1985a). An empirical model for stomatal resistance of field-grown wheat. *Agric.*

- and Forest Meteorol., 36, 65-82.
- Choudhury, B.J. and Idso, S.B. (1985b). Evaluating plant and canopy resistances.... Agric. and Forest Meteorol., 34: 67-76.
- Choudhury, B.J., Reginato, R.J. and Idso, S.B. (1986). An analysis of infrared temperature observations over wheat and calculation of latent heat flux. Agric. and Forest Meteorology, 37 : 75-88.
- Driessen, P.M. (1986). The water balance of a soil. Section 3.2 in "Modeling of agricultural production: weather, soils and crops" (ed. H. van Keulen and J. Wolf). Simulation monographs, Pudoc, Wageningen. p. 76-116.
- Federer, C.A. (1979). A soil-plant-atmosphere model for transpiration and availability of soil water. Water Res. Research, No 3, 555-562.
- Grimes, D.W., Yamada, H. and Hughes, S.W. (1987). Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. Agric. Water Management, 12: 293-304.
- Hansen, G.K. (1974a). Resistance to water flow in soil and plants, plant water status, stomatal resistance and transpiration of Italian ryegrass, as influenced by transpiration demand and soil water depletion. Acta Agric. Scandinavica 24, 84-92.
- Hansen, G.K. (1974b). Resistance to water transport in soil and young wheat plants. Acta Agric. Scandinavica, 24, 41-50.
- Hari, P., Mäkelä, A., Korpilahti, E. and Holmberg, M. (1986). Optimal control of gas exchange. Tree physiology, 2, 169-175.
- Hsiao, T.C. (1973). Plant response to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol., 24, 519-570.
- Idso, S.B. (1983). Stomatal regulation of evaporation from well-watered plant canopies: A new synthesis. Agric. Meteorol. 29: 213-217.
- Jarvis, P.G. and Morrison, J.I.L. (1981). The control of transpiration and photosynthesis by stomata. In: P.G. Jarvis and T.A. Mansfield (Editors). Stomatal Physiology. Society for Experimental Biology: Seminar Series, Cambridge University Press, pp. 247-279.
- Johnsson, H., Bergström, L., Jansson, P.E. and Paustian, K.

- (1987). Simulated nitrogen dynamics and losses in layered agricultural soil. *Agric., Ecosystems & Environ* 18, 333-356.
- Karvonen, T. (1988). A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield. Helsinki University of Technology, Publication of the Laboratory of Hydrology and Water Resources Engineering 1988/1. Otaniemi, 215 pp.
- Shawcroft, R.W., Lemon, E.R., Allen, L.H., Stewart, D.W. and Jensen, S.E. (1974). The soil-plant-atmosphere model and some of its predictions. *Agric. Meteorology*, 14, 287-307.
- Spitters, C.J.T., Toussaint, H.A.J.M. and Goudriaan, J. (1986). Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis. Part I. Components of incoming radiation. *Agric. and For. Meteorol.*, 38, 217-229.
- Spitters, C.J.T. (1986). Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis. Part II. Calculation of canopy photosynthesis. *Agric. and For. Meteorol.*, 38, 231-242.
- Sutcliffe, J. (1979). *Plants and water. Studies in Biology*, 14, London.
- Szeicz, G., Van Bavel, C.H.M. and Takami, S. (1973). Stomatal factor in the water use and dry matter production by sorghum. *Agric. Meteorol.*, 12:361-389.
- Villholth, K. and Høgh Jensen, K. (1988). Conceptual modeling of nitrogen leaching from cultivated areas. Nordisk Hydrologisk Konferens 1988, NHP-Rapport nr. 22, Del 2. 221-239.

Finn Plauborg
Statens Planteavlsforsøg
Afdeling for Jordbrugsmeteorologi
Forsøgsanlæg Foulum, P.O. Box 25
DK-8830 Tjele, Danmark

MARKVAND

Et EDB-baseret vandingsstyringssystem

I n d l e d n i n g

Vanding af landbrugsafgrøder praktiseres i Danmark især på sandede jorde. Vandingsplanlægningen på den enkelte ejendom har hidtil alene været baseret på vandbalancedata fra fordampningsmålere, der manuelt aflæses en gang om ugen. For at forbedre grundlaget for beslutninger om, hvornår, og med hvilken mængde afgrøder bør vandes, blev der i 1987-88 ved Afdeling for Jordbrugsmeteorologi udviklet et EDB-baseret vandingsstyringssystem, benævnt MARKVAND.

Systembeskrivelse

MARKVAND (version 2.00) omfatter følgende afgrøder: græs, kartoffel, bederoe, vinter- og vårbyg, vinterhvede, vinterrug, vinter- og vårraps samt ært.

Vandingsstyringssystemet er opbygget omkring en afgrødemodel, en vandbalancemodel, en beslutningsmodel, standarder for forskellige jordtyper og afgrøder samt et brugerinterface til håndtering af ind- og uddata. Modellerne opererer på daglige tidsskridt.

Afgrødemodel

I afgrødemodellen simuleres bladarealindeks (LAI), rodudvikling og afgrødeudvikling ud fra temperatursummer. Maximum LAI er begrænset til 5 for alle afgrøder. Rodudvikling estimeres ved vækstraten 1.2 cm dag^{-1} for græs og 1.5 cm dag^{-1} for øvrige afgrøder (Aslyng og Hansen, 1982). Start for beregninger er for vårafgrøder tidspunktet for observeret fremspiring.

For vinterafgrøder er det tidspunktet for vækststart om foråret. I Tabel 1 er vist de temperatursumskrav, der fastligger standardudviklingen for ært. Et eksempel på simuleret bladarealindeks og rodudvikling for denne afgrøde er vist i Figur 1. For en detaljeret beskrivelse af beregningsmetoder og temperatursumskrav for alle afgrøder i systemet henvises til Plauborg og Olesen (1989).

Tabel 1. Basistemperatur og temperatursummer til beregning af vækst og udvikling i ært.

Afgrødeudvikling	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)		Beregningsstart
	basis	krav	
Fremspiring	-	-	-
LAI, vækstrateændr.	0.0	250	Fremspiring
Maximum LAI	0.0	471	Fremspiring
Aftagende LAI	0.0	720	Fremspiring
Afsluttet vækst	0.0	1406	Fremspiring
Vækststadier			
Beg. blomstring	0.0	516	Fremspiring
Afsl. blomstring	0.0	399	Beg. blomstring
Afsl. indlejring	0.0	459	Afsl. blomstring
Afsl. modning	0.0	79	Afsl. indlejring

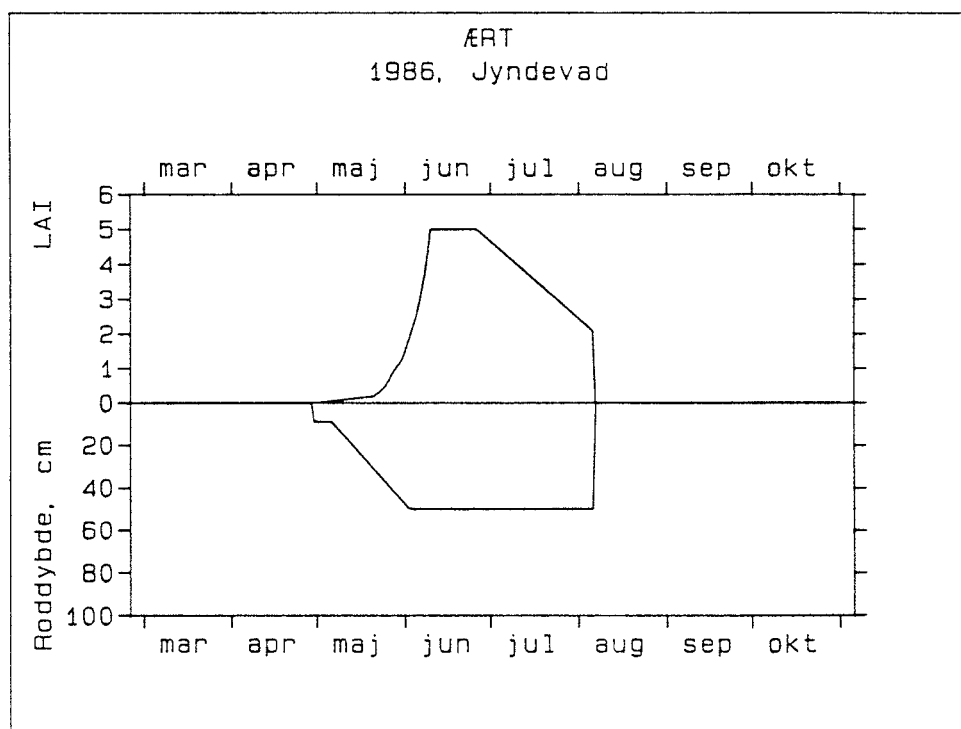


Fig. 1. Simuleret bladarealindeks og rodudvikling.

Jordtyper

Systemet opererer med standardværdier for 10 forskellige jordtyper med en maksimal plantetilgængelig vandmængde, varierende fra 61 mm i en grovsandet jord til 189 mm i en svær lerjord. Standardværdierne er udledt fra Madsen og Holst (1987) og Aslyng og Hansen (1987). Hver jordtype er opdelt i et muldlag og en underjord. Texturen i underjorden begrænser den effektive roddybde, varierende fra 500 mm i sandjorde til 900 mm i lerjorde. Standardværdierne for en grovsandet jord er vist i Tabel 2.

Tabel 2. Standardparametre for en grovsandet jord. Markkapacitet (FC), Visnekapacitet (WC) og plantetilgængelig vand (AW).

	Dybde mm	FC mm/mm	WC mm/mm	AW mm/mm
Muldlag	300	0.20	0.05	0.15
Underjord	200	0.13	0.05	0.08

Vandbalancemodel

Evapotranspirationsmodellen er baseret på principper i modellerne præsenteret af Aslyng og Hansen (1982) og Kristensen og Jensen (1975). Modellen beregner aktuel evapotranspiration, jordvandsunderskud i den aktuelle rodzone og perkolation gennem rodzonen. Detaljerede beregningsalgoritmer er beskrevet af Plauborg og Olesen (1989). Daglig input til modellen er potentiel evapotranspiration (reference evapotranspiration), nedbør, vandingsmængde, LAI og effektiv roddybde. Det antages, at aktuel evapotranspiration ikke kan overstige potentiel evapotranspiration, samt at jorden er ved markkapacitet 1. april. Aktuel evapotranspiration udregnes som summen af evaporation af interceperet nedbør på afgrøden, evaporation fra bar jord og transpiration fra afgrøden. Aktuel evapotranspiration afhænger herved af potentiel evapotranspiration, nedbør, LAI og jordvandsunderskud i den aktuelle rodzone.

Beslutningsmodel

Det er velkendt, at udbyttet reduceres i en tørkeramt afgrøde. Ligeledes gælder, at en afgrøde udviser forskellig tørkefølsomhed i forskellige vækstfaser. Afgrødeafhængige standardværdier for tørkefølsomhed i forskellige vækstfaser er indlagt i vandingssstyringssystemet. Standardværdierne er fastlagt i samarbejde med Afdeling for Kulturteknik, Statens Plan-teavlsforsøg. Tørkefølsomheden udtrykkes som tilladeligt relativ jordvandsunderskud i den aktuelle rodzone, se Tabel 3.

Tabel 3. Tørkefølsomhed i forskellige vækstfaser for ært, udtrykt som tilladeligt relativ jordvandsunderskud i den aktuelle rodzone.

Vækstfaser	Relativ jordvandsunderskud %
Vegetativ 1	-
Vegetativ 2	65
Blomstring	45
Indlejring	60
Modning	-

Input til beslutningsmodellen er beregnet relativ jordvandsunderskud i den aktuelle rodzone samt ovennævnte standardværdier for tørkefølsomhed. Overskrides det tilladelige jordvandsunderskud udskriver systemet forslag om vanding.

Brugerinterface

For at afvikle vandingssstyringssystemet kræves en mikro-datamat (IBM kompatibel PC'er). Brugeren (landmanden eller konsulenten) indtaster data vedrørende klima, ejendom, marker og afgrøder. Systemet kan afvikles på et minimum af inddata. Det er dog muligt at indberette mere detaljerede mark- og afgrødeoplysninger og derved opnå vandingsforslag, der i højere grad er tilpasset den individuelle ejendom.

Inddata

Døgnværdi for potentiel evapotranspiration og døgnmiddeltemperatur indtastes dagligt i systemet. Disse klimaparametre

indhentes fra det nærmeste kvadrat i et klimagrid. Klimagridet, der dækker hele Danmark, består af 44 kvadrater af (40 x 40) km². For hver af disse kvadrater beregnes døgnværdier for en række klimavariabler bl.a. fordampning på grundlag af registreringer ved meteorologiske stationer.

For at introducere en ejendom til systemet indtastes i starten af vækstsæsonen forskellige ejendoms- og markoplysninger bl.a. ejendommens placering, antal marker, jordtyper og afgrøder. For vårafgrøder oplyses fremspiringsdatoen. Gennem vækstsæsonen indtastes nedbør målt på ejendommen samt vandingstidspunkt og mængde for den enkelte mark.

Uddata

Beregningsresultater fra evapotranspirationsmodellen og beslutningsmodellen præsenteres for brugeren som et vandingsforslag for de enkelte marker på ejendommen. Et eksempel på et sådant informationsbillede er vist i Tabel 4.

Tabel 4. Vandingsvejledning med angivelse af aktuel jordvandsunderskud (SW-def.), vandingstidspunkt og mængde for forskellige afgrøder.

Mark	Afgrøde	SW-def. mm	Vanding, mm				
			Søn.	Man.	Tirs.	Ons.	Tors.
1	Vinterraps	21				25	
2	Kartoffel	18	23				
3	Græs	44		25			
4	Sukkerroe	8					

For hver mark er angivet det aktuelle jordvandsunderskud, vandingstidspunkt og mængde. Et eventuelt vandingsforslag udskrives på en af dagene i en 5-døgn prognoseperiode.

Systemafprøvning og modeltest

Modeludvikling og validering påbegyndtes i 1987 og fortsattes i takt med systemudvidelser ved Afdeling for Jordbrugsmeteorologi.

Vandbalancemodellen er testet mod data fra markforsøg udført ved Afdeling for Kulturteknik og Afdeling for Jordbrugs-

meteorologi. I markforsøgene er indsamlet data vedrørende klima og afgrødeudvikling. Ligeledes er udviklingen i jordvandsindholdet bestemt med tensiometer og/eller neutronmåleudstyr. Et eksempel på simuleret og målt jordvandsunderskud er vist i Figur 2.

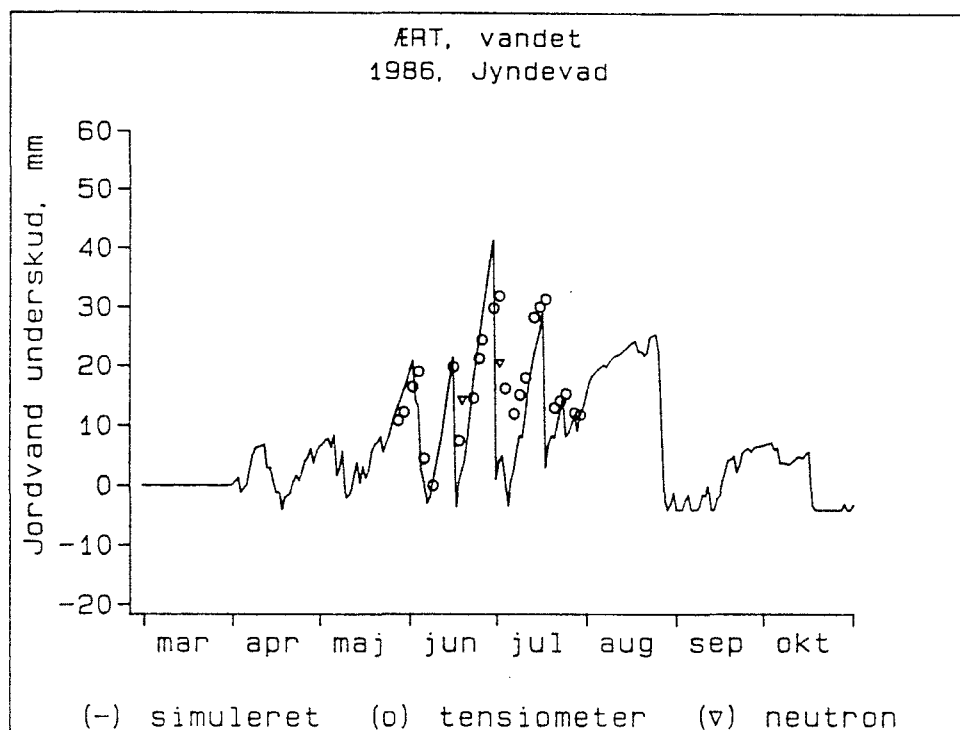


Fig. 2. Simuleret og målt jordvandsunderskud.

MARKVAND systemet afprøves og evalueres i vækstsæsonen 1989 for andet år i samarbejde med Landskontoret for Planteavl og planteavlskonsulenter i jordbruget. Formålet med denne afprøvning er primært at evaluere opbygningen af brugerinterfacet, men også at sammenligne systemets vandingsforslag med den traditionelle vandingspraksis. Foreløbige vurderinger og tilkendegivelser fremhæver MARKVAND systemet som et godt og anvendeligt styringsværktøj i planteproduktionen.

Afslutning

MARKVAND systemet er planlagt udvidet med en prioriteringsmodel, der kan vejlede landmanden om hvilken afgrøde, der bør vandes, såfremt flere afgrøder udviser vandingsbehov samtidigt og vandingskapaciteten er begrænset.

L i t t e r a t u r

- Aslyng, H.C. og Hansen, S. 1982. Water Balance and Crop Production Simulation. Hydrotechnical Laboratory. The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. 200 pp.
- Kristensen, K.J. og Jensen, S.E. 1975. A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. Nordic Hydrology, 6, 170-188.
- Madsen, H.B. og Holst, K. 1987. Potentielle marginaljorder. Miljøministeriets projektundersøgelser 1986. Teknikerrapport Nr. 1. Skov- og Naturstyrelsen. 112 pp.
- Plauborg, F. and Olesen, J. 1989. MARKVAND. Modeludvikling og validering af EDB-baseret vandingssstyring. Tidsskr. Planteavl (in preparation).

Forsker Kristian Lie Kongsrud,
Kise forskingsstasjon
N-2350 Nes på Hedmark

NÆRINGSVATNING - TEKNIKK OG MULIGHETER

Innledning.

En best mulig utnyttelse av tilført gjødsel er i dag et krav. I miljødebatten fokuseres det på nitrogen og fosfor og faren for avrenning og utvasking av disse stoffene. Blir tilførselen for stor risikerer en tap til omgivelsene og miljøskader. Nyere undersøkelser tyder på at det er mulig å redusere gjødselmengden uten at avlinga og produktkvaliteten reduseres. Forutsetningen for dette er en bedre tilpasset gjødsling etter plantenes behov i ulike utviklingsstadier. Dette har i høy grad aktualisert næringsvatning og denne teknikken tilpasses nå i økt omfang til ulike kulturer. Nye vatningssystemer med bedre spredningsjevnhet har i høy grad bidratt til dette. I grønnsakdyrking og frukt-og bær dyrking har næringsvatning fått stor utbredelse i mange land, og da særlig i forbindelse med dryppvatning. I de nordiske land er vi helt i startfasen når det gjelder forskning på dette området.

Spredesystem og spredningsjevnhet.

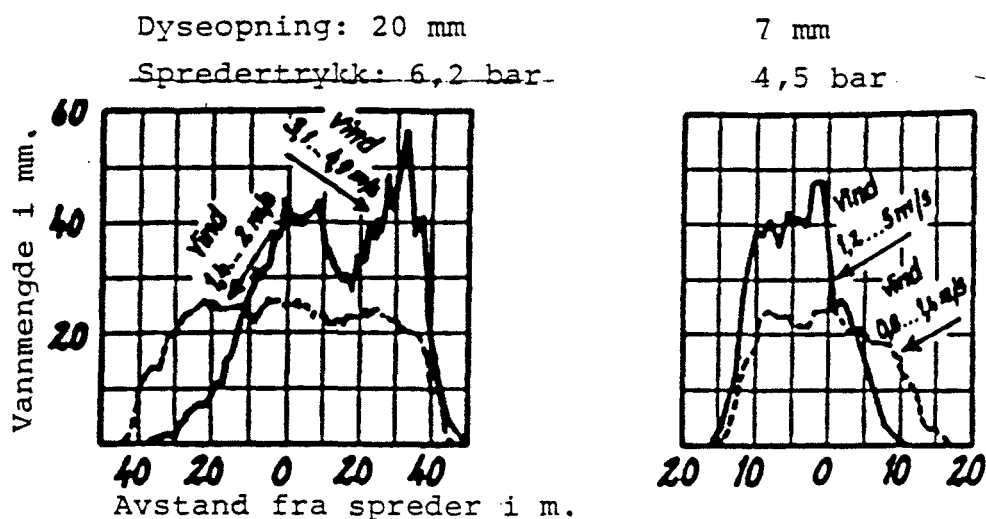
Vatningssystem som anvendes i størst utstrekning i de nordiske land i dag er spredersystemer som:

1. Rekkevatning med flyttbare spredere
2. Mobile vatningsmaskiner.

På markedet finnes det et stort utvalg av gode spredere, som ved riktig innstilling og passende flytteavstand, gir en tilfredsstillende jevn vatning under vindstille forhold. I praksis vil vind nesten alltid føre til ujevnhet i vatninga. (Sourell 1984) fig. 1. Selv ved svak vind kan ujevnheten være stor. Dette begrenser brukbarheten av spredere ved næringsvatning.

I de siste 10-15 årene har det vært arbeidet med utvikling av mindre vindfølsomt vatningsutstyr. Et resultat av dette er mobile vatningsbommer (rampevatning) med sprededyser eller

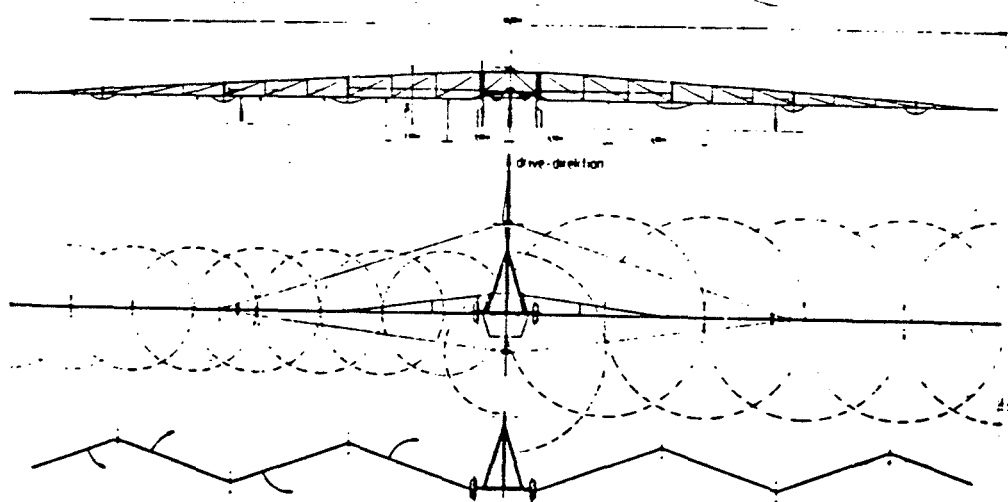
Fig. 1



Vannfordeling ved ulike vindforhold . Etter Sourell, 1984.

minispredere. Dette synes å være en klar forbedring med tanke på vindfølsomheten, og kan gi jevn spredning ved relativt sterk vind (fig. 2).

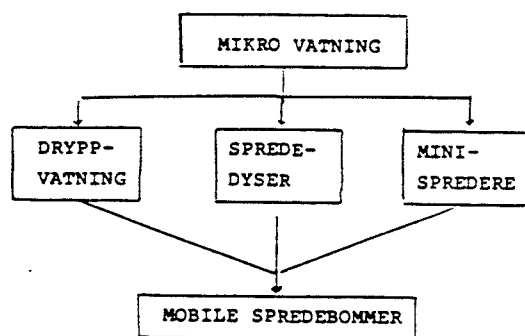
Fig. 2.



Vatningsbom "System Völkenrode" etter Sourell, 1984.

Mikro-vatning inkluderer dryppvatning og vatning med spred-
 dyser og minispredere (fig. 3).

Fig. 3.



Dryppvatningsmetoden i frilandskulturer har ekspandert svært raskt siden den ble utviklet å tatt i bruk i Israel i 60 årene. Årsaken til dette er i første rekke en langt bedre utnyttelse av vatnet enn ved spredervatning, og et lavt arbeidsforbruk.

Næringsvatning bli betraktet som en integrert del av et dryppvatningssystem. Ved denne vatningsmetoden holder en et jevnt høyt fuktighetsnivå i nærheten av drypppunktene, mens en kan få større eller mindre tørre partier mellom drypppunktene. Rotutviklinge hos plantene blir dermed påvirket og næringsvatning blir betraktet som en nødvendighet.

Dryppvatning er særlig godt skikket i frukt-og bær dyrking og blir nå tatt i bruk i økt omfang også i de nordiske land.

Anvendbarheten av dryppvatning i ettårige kulturer under våre klimaforhold er i først rekke begrenset av anleggskostnadene.

Dryppvatningsutstyr som til nå har vært markedsført i de nordiske land er relativt dyrt. På det internasjonale marked finnes det et rikt utvalg av rimelige dryppvatningssystemer.

Sukkerindustrien på Hawaii, som i dag har 35.000 ha sukkerrør under dryppvatning, har siden 1971 arbeidet med testing av utstyr. Informasjon fra disse undersøkelsene er tilgjengelige for brukerne for valg av utstyr og for produsenter av dryppvatningsutstyr for å bedre kvaliteten og minimalisere kostnadene (Bui, W. 1988). Noen tall fra siste års undersøkelser er vist i tabell 1.

Bi-Wall, som har vært i bruk i snart 20 år, er det systemet som til nå har vært mest brukt på Hawaii. På denne tida har systemet blitt forandret flere ganger og betydelig forbedret.

Thypoos, som ble introdusert i 1985, er i dag det system som foretrekkes.

Tabell 1. (etter Bui 1988)

	CV %	Tiltetting %	Kostnadsfaktor
Bi-Wall	5-10	10-15	1,1
Chapin-W4-14	3-6	20-22	1,0
Dura-Tape	5-10	15	0,9
Thypoos	2-4	1-3	1,1
Ro-Tape	10-15		0,9
Drip Rite	2-4	2	2,0
In line emitters	2-3		4,0
RAM emitters	2-4		4,0

T-Tape er et rimelig dryppvatningssystem, som har vært brukt i USA i de siste 10-12 år. Dette systemet blir hevdet å ha ca 90% av dryppvatningsmarkedet i Kalifornia. I Europa anvendes det mye i Frankrike, Italia og Spania. Systemet er nå tatt inn og blir markedsført i Sverige og Norge. Et gjennombrudd for dryppvatningsmetoden i de nordiske lan er betinget av at vi får tilgang på rimelig utstyr med gode bruksegenskaper.

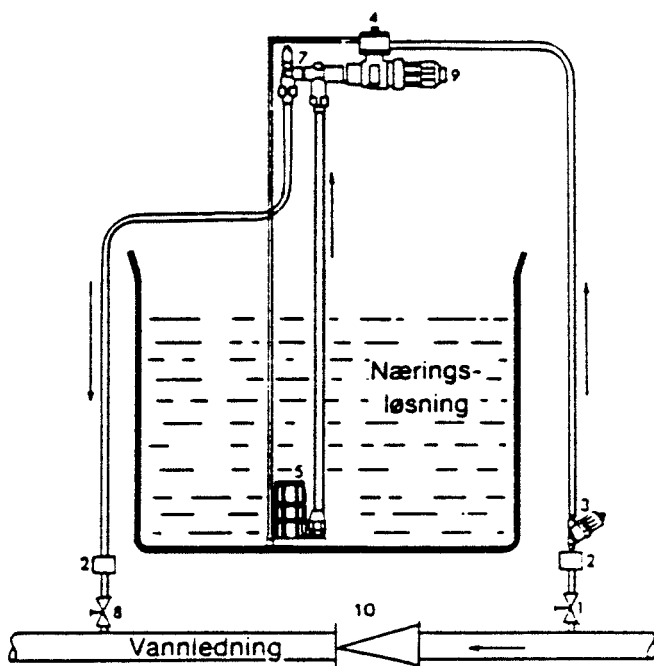
Utstyr og metoder for gjødselinjeksjon.

Valg av utstyr for gjødselinjeksjon avhenger i noen grad av vatningsutstyret. Ved bruk av mobilt vatningsutstyr må næringsstilførselen foregå ved konstant konsentrasjon. Målet bør være å holde systemet så enkelt som mulig. Av metoder som er vanlig brukt kan nevnes:

1. Innsuging av næringsløsning på pumpas sugeside.
 2. Injeksjonspumper (fig.4)
 3. Metoder som bygger på trykkdifferanse i trykkledningen(fig. 5).
- De fleste næringsløsninger er svært korrosive når det gjelder metallkomponenter. Innsuging av næringsløsning på pumpas sugeside bør derfor unngås.

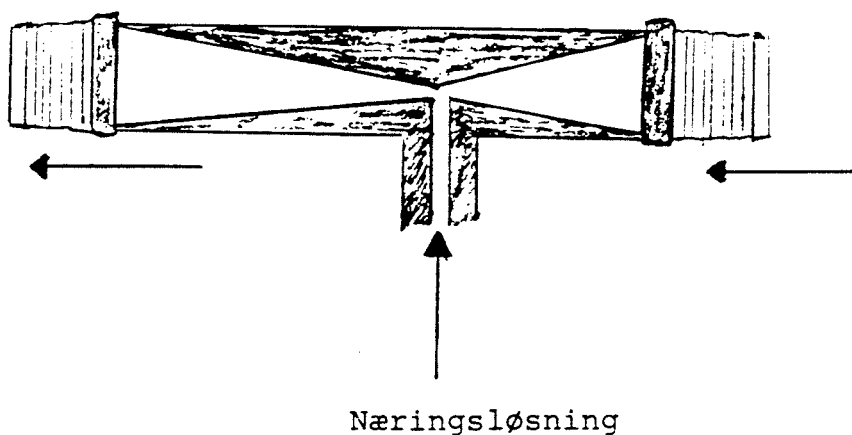
Tendensen internasjonalt er en stadig sterkere oppdeling av næringstilførselen, og at både nitrogen, fosfor og kalium tilføres på denne måten. Næringsvatning med bare nitrogen, en vanlig praksis, er ikke tilfredsstillende. Plantene trenger

Fig. 4.



1. Kuleventil for driftsvann.
2. Hurtigkopling.
3. Filter.
4. Automatisk stoppeventil.
5. Sughode med sil.
7. Lufteventil.
8. Kuleventil for dosert næringsløsning.
9. Utløp for driftsvann.
10. Hovedkran dersom ønskelig.

Fig. 5.



ulike mengder av ulike næringsstoffer i ulike utviklingsstadier. Gjødslingsprogrammet bør derfor endres både kvantitativt og kvalitativt gjennom sesongen (Townsend, 1988). Ved dyrking på lett jord med små reserver av næringsstoffer kan det være aktuelt å tilføre en fullstendig næringsblanding.

Dette kan gjøre det nødvendig å bruke flere stamløsninger og ei injeksjonspumpe med to eller flere pumpehoder.

Det eksakte næringsbehovet til ulike vekster og i ulike utviklingsstadier er for dårlig kjent. På dette området er det behov for mere forskning.

Teknisk er det i i dag utviklet både vatningsutstyr, gjødselinjektorer og styringsautomatikk som muliggjør en nøyaktig styring av vann-og næringstilgangen.

Litteratur.

Bui, W. 1988. Results of irrigation tubing evaluation program in the Hawaiian Sugar Industry. Proc. fourth international micro-irrigation congress, Albury-Wodonga, Australia.

Linner, H. 1982. Tilførsel av vækstnæring med bevatningsvatnet. NJF-utredning nr.8:46-55

Sourell, H. 1984. Development and tendencies in irrigation of agricultural crops. NJF-utredning nr.16: 166-185.

Townsend, J.D. 1988. Plant performance management system- the future for drip irrigation? Proc. fourth international micro-irrigation congress, Albury- Wodonga, Australia.

DYS-RAMPBEVATTNING I JÄMFÖRELSE MED SPRIDARBEVATTNING

I n l e d n i n g

En av grundförutsättningarna för att lyckas med odling av grönsaker på friland är tillgången till någon form av bevattningsanläggning samt bevattningsvatten av bra kvalitet i stora kvantiteter.

Bevattning kan i princip behövas under hela odlingssäsongen; först för att säkerställa etableringen efter plantering eller sådd och därefter för att styra grödan mot en bra kvalitet och stor skörd.

Inom både trädgårdsodlingen och jordbruket har bevattningsförsök med konventionell utrustning visat stora skördeökningar för t.ex. kålväxter, potatis, sockerbetor och vallväxter. Det viktigaste resultatet av bevattning, som jag ser det, är inte att vi får en stor skördeökning utan att vi får en försäkring om minimerad skördevariation från säsong till säsong samt en gröda av hög kvalitet som ges möjlighet att effektivt utnyttja växtnäringen i marken även under nederbördsfattiga förhållanden.

Nu är frågan om dagens konventionella bevattningsteknik med spridare, antingen som storspridare på en bevattningsmaskin eller småspridare i ett rör- eller slangsystem är tillräckligt bra i framtidens odlingssystem. Faktorer som talat mot spridarbevattning är att miljö- och kvalitetskraven troligtvis blir ännu större och den ekonomiska pressen ser ut att bli allt hårdare mot trädgårdsnäringen.

Ny bevattningsteknik som dropp- eller rampbevattning ger grödorna bättre förutsättningar genom att vattna med mycket stor precision och hög skonsamhet. I det följande behandlas dock bara rampbevattning. Avsikten är att beskriva vad dys-rampbevattning är samt att peka på detta systems för- och nackdelar i jämförelse med spridarbevattning.

S p r i d a r b e v a t t n i n g

Spridarbevattning kan delas in i två huvudgrupper beroende på hur tekniken är utformad och använd. Den ena gruppen är rör- eller slangsystem med småspridare och den andra är bevattningsmaskiner med storspridare.

Rör- eller slangsystem med småspridare

Bevattning med rör eller slangsystem medger stor flexibilitet med tanke på fältform, jordart och växtslag. Vattendropparna från spridarna är relativt skonsamma mot jord och gröda om trycket inte är alltför lågt. Normalt arbetstryck är 3-4 bar, vilket medför att energibehovet är ganska lågt för spridarsystemet.

Systemet är dock mycket arbetskrävande och investeringen kan bli förhållandevis stor. Speciellt om anläggningen endast används i känsliga grödors tidiga utvecklingsskede eller då risken för skorpbildning är stor. Givetvis är rör- eller slangsystem också användbart under senare skede i grödans utveckling samt på fält vars form eller storlek inte passar för bevattningsmaskiner.

Spridningsjämnheten från rör- eller slangsystem är mycket varierande, vilket beror på faktorer som flyttavstånd, spridaravstånd, spridartyp, spridartryck och vindpåverkan. Detta ger att systemet inte lämpar sig för växtnäringsbevattning.

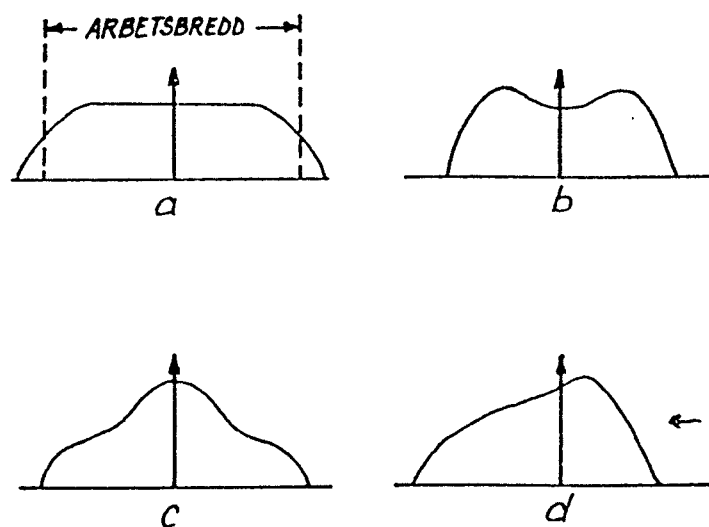
Bevattningsmaskiner med storspridare

En bevattningsmaskin utrustad med storspridare eller så kallad kanon ger inte lika stor flexibilitet med tanke på fältform och jordart som vid bevattning med rör- eller slangsystem.

Dessutom ger storspridaren relativt stora droppar som har stor rörelseenergi vid låga spridartryck. Detta gör att jord kan stänka upp på grödan samt att känsliga grödor kan lägga sig eller slås sönder. Vidare kan slamning och skorphildning lätt uppträda när storspridare används.

Spridartrycket måste därför vara minst 5-7 bar, beroende på munstyckets diameter, för att dropparna skall bli små och därmed mindre farliga för gröda och jord. Detta leder till stor energiförbrukning vid bevattningen.

Vidare är spridningsbilden starkt beroende av vindhastighet och vindriktning på grund av arbetssättet genom att kasta vattnet högt upp i luften. Spridningsbilden påverkas mycket starkt även vid så måttliga vindhastigheter som 2-3 m/s, se fig 1. Detta medför att en bevattningsmaskin med storspridare är direkt olämplig att använda för växtnäringsbevattning, eftersom det nästan i princip alltid blåser något vid bevattningstillfällena.



Figur 1. Vattenfördelningen från en spridare på bevattningsmaskin
a) Idealisk spridare med rätt tryck och sektor, vindstilla
b) Vid medvind eller motvind eller lågt tryck
c) Vid alltför högt tryck
d) Vid sidvind

Källa: Johansson, W. och Linnér, H. 1977.

D y s - r a m p b e v a t t n i n g

Genom att byta ut storspridaren på bevattningsmaskinen mot en ramp och på denna montera ett stort antal bevattningsdysor eller bevattningsmunstycken med liten diameter, ca 5 mm, fås en bevattningsramp. Bevattning med ramp ger en rad fördelar jämfört med spridarbevattning om rampen har rätt typ av dysor, rätt dysavstånd och rätt arbetstryck. En del av dessa fördelar ges nedan:

- + jämn vattengiva över hela arbetsbredden även vid blåst
- + bevattningens jämnhet möjliggör växtnäringsbevattning
- + skonsam bevattning p.g.a. små droppar och låg fallhöjd
- + inget jordstänk på växterna; vattnet faller som finregn
- + bevattning av späda grödor möjlig
- + mindre risk för igenslamning och skorpbildning
- + lägre vattenförluster p.g.a. mindre avdunstning och avdrift
- + spar vatten genom stor precision och lägre vattenförluster
- + spar energi p.g.a. lågt arbetstryck och minskat vattenbehov
- + betydligt mindre arbetskrävande jämfört med rör-slangsystem

Det är relativt få nackdelar som är förknippade med rampbevattning. De största invändningarna mot rampbevattning är att det är mer arbetskrävande jämfört med storspridare samt att investeringen är större.

Det är helt klart att arbetsbehovet ökar vid rampbevattning. Rampernas bredder är 24-36 meter, vilket i princip betyder att flyttning av rampmaskiner får ske dubbelt så ofta jämfört med storspridar-maskiner.

Investeringen är större. En ramp kostar något mer än 1 000 SEK per meter arbetsbredd, dvs 30 - 50 000 SEK jämfört med 5-10 000 SEK för en storspridare. Men det viktiga är inte inköpspriset för rampen, utan bevattningskostnaden per hektar.

Användningstiden för en bevattningsmaskin med ramp kan ökas betydligt genom möjligheten till bevattning under blåsiga förhållanden samt genom växtnäringsbevattning. En ökad användningstid resulterar i högre maskinutnyttjande och därmed lägre maskinkostnad per hektar.

Rampbevattning förbrukar dessutom både mindre energi och vatten per hektar jämfört med storspridar-maskiner. Detta gör att bevattningskostnaden med ramp inte blir större jämfört med storspridar-maskiner trots att rampen måste flyttas dubbelt så ofta. Bevattningsresultatet blir dock klart bättre för rampmaskinen än för storspridar-maskinen.

L i t t e r a t u r

Alinder, Staffan, 1984: Alternativa bevattningsformer I. Bevattningsramp, Institutionen för markvetenskap, Rapport 141:

Emgardsson, Per, 1989: Rampbevattning lönsam, Lantmannen. 10: s 12-13

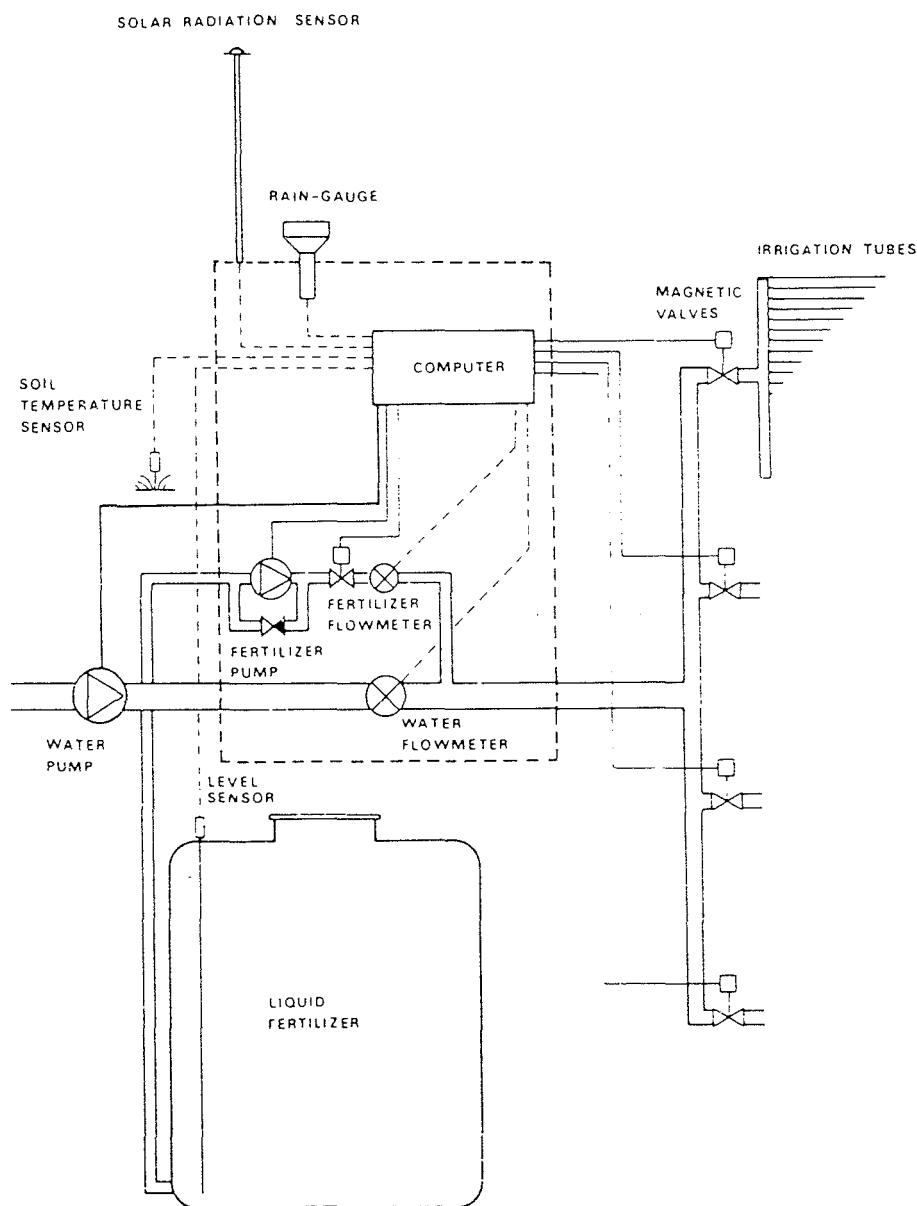
Johansson, W. och Linnér, H. 1977: Bevattning, LTs förlag:

Statens Maskinprovningar, 1986: Nelson Spray I, Meddelande nr 3016:

Svensson, Sven-Erik, 1988: Rampbevattning med växtnäringsstillförsel, Institutionen för lanthbruksteknik, Alnarp, Stencil: 6 sidor

ETT FLEXIBELT SYSTEM FÖR DATORSTYRD TILLFÖRSEL AV VATTEN OCH NÄRING.

Jan Parsby
Institutionen för Ekologi och Miljövård
Sveriges Lantbruksuniversitet.



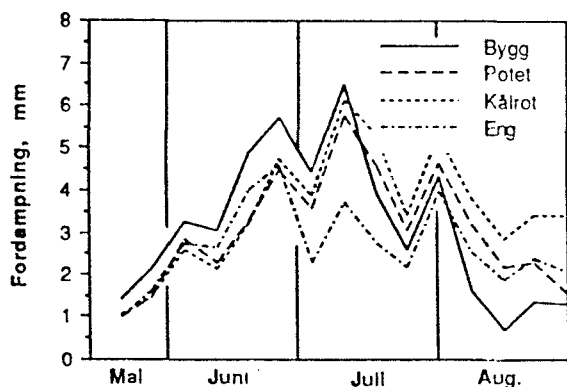
Ett system för bevattning och näringstillförsel tillsammans med tillhörande klimatstation för mätning av solinstrålning, marktemperatur och regn. En PC - dator används för att beräkna och kontrollera den tillförda mängden vatten och näring på de olika försöksytorna. Systemet är utvecklat i samarbete med professor Torsten Ingestad, Styrelsen för Teknisk Utveckling samt Utvecklingsfonden i Uppsala län. Systemet används på 10 försöksplatser (Sverige, Holland och Belgien).

Einar Myhr
Institutt for hydroteknikk
Boks 32, N-1432 Ås-NLH, Norge

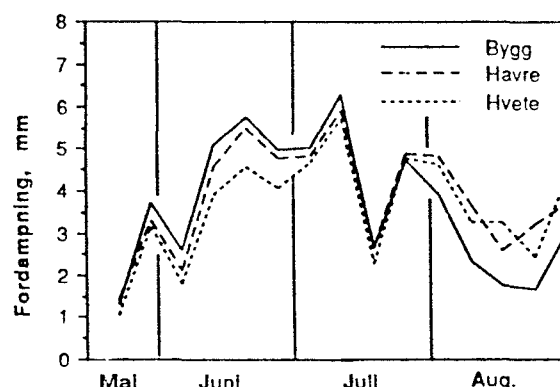
ULIKE JORDBRUKSVEKSTERS POTENSIELLE VASSFORBRUK

Sammanfattning

Det potensielle vassforbruk til ulike jordbruksvekster er bestemt i et feltlysometer. Lysimeterkar med vekster og med grunnvatn på ca. 40 cm djup ligger i større bestand av samme vekst. En måleserie med bygg, potet, kålrot og gras er ferdig (3 år), og en ny serie med bygg, havre, hvete og ryps er på gang (2 år).



Midlere daglig fordampning
1984-86.



Midlere daglig fordampning
1987-88.

Resultatet så langt viser at bygg har et betydelig større vassforbruk enn de andre kornarter fram til over full aksskyting, hvorefter det avtar sterkt. Havre synes å ha større vassforbruk enn hvete og begge disse arter har større vassforbruk enn bygg i siste del av veksttida. Høstinger av eng i veksttida reduserer vassforbruket betydelig.

Både potet og kålrot har lite, men sterkt økende vassforbruk ut over forsommeren. Mot slutten av veksttida har disse vekster, spesielt kålrot, et relativt stort vassforbruk.

Vassforbruket til de ulike vekster er sammenholdt med fordampningen fra fri vassflate (ca. $0,25 \text{ m}^2$). Fra midten av juni er plantenes vassforbruk betydelig større enn fordampningen fra vassflata. Både for bygg, potet og kålrot er det for enkelte perioder registrert forholdstall på 1,6-1,8.

ULIKE JORDBRUKSVEKSTERS POTENSIELLE VASSFORBRUK

I Bygg, gras, potet og kålrot, se Myhr, E. (1988).

II Bygg, havre, hvete og ryps.

I 1984 ble det ved Institutt for hydroteknikk, NLH, startet et prosjekt for å undersøke det potensielle vassforbruk til våre vanligste jordbruksvekster.

Undersøkelsen tok samtidig sikte på å sammenholde vassforbruket til de ulike plantebestand med lettere målbare størrelser som i vesentlig grad blir bestemt av de samme faktorer. Adgang til slike data og kjennskap til disse relasjoner kan gi grunnlag for regional veiledning om vatning i praksis.

For dette formål ble det på feltet foretatt målinger av fordampning fra fri vassflate og kortklipt gras, samt registrert meteorologiske data for beregning av potensiell fordampning.

En forsøksserie med bygg, gras, poteter og kålrot startet i 1984 og gikk til 1986. En ny serie med bygg, havre, hvete og ryps startet i 1987 og skal avsluttes i 1989. Resultatet fra den første serien er publisert i Norsk landbruksforskning (Myhr, 1988. Utdelt på seminaret). Dette notatet vil gi noen foreløpige resultater fra den andre serien.

Når det gjelder forsøksanlegg, instrumentering og målemetoder henvises til den nevnte publikasjonen.

De fire vekster som gikk inn i den andre serien var:

Bygg (Bamse)

Havre (Svea)

Hvete (Runar)

Ryps (Emma)

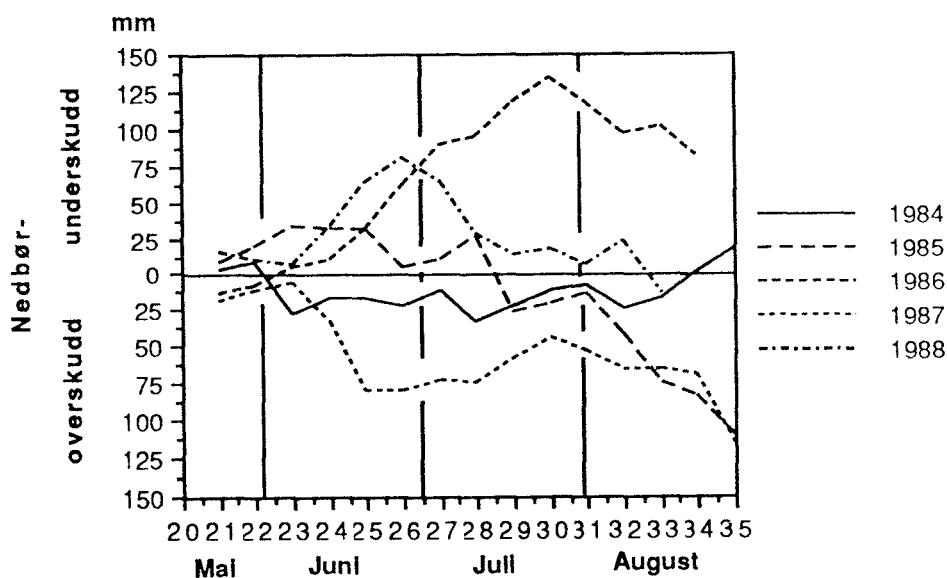
Bygg ble tatt med i den andre serien som målestokk og for sammenlikning med den første serien.

Gjødsling, såtid og sprøyting m.v. ble lagt så nær opp til det som er vanlig i praksis.

Været i vekstårene.

Både 1987 og 1988 var forholdsvis nedbørrike med nedbørmengder på henholdsvis 65 og 130 mm over det normale i perioden mai-august. De samme tall for juni-juli var henholdsvis 42 og 62 mm.

Vassbalansen, beregnet på grunnlag av nedbøren og fordampningen fra fri vassflate (Thorsrud 2500), for samtlige år undersøkelsen har vært i gang, går fram av figur 1.

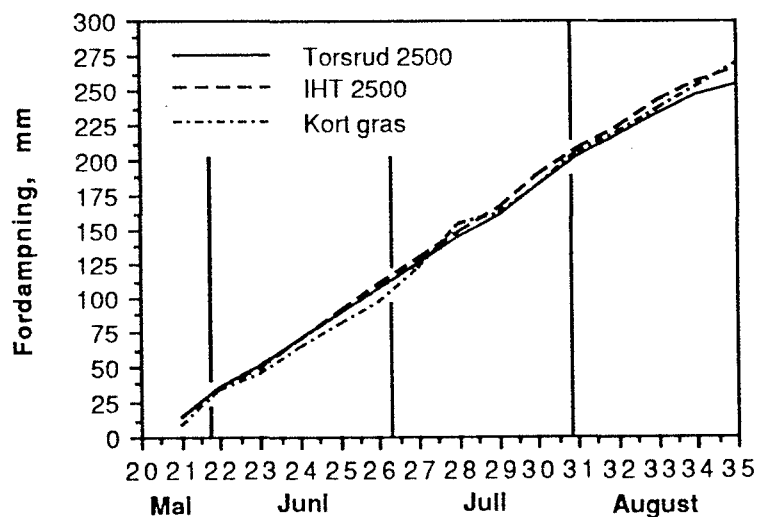


Figur 1. Vassbalanse 1984/88.

Figuren viser at det var et betydelig nedbøroverskudd gjennom det meste av veksttida i 1987. I 1988 var det forholdsvis tørt i juni, og det ble mot slutten av måneden bygd opp et nedbørunderskudd på ca. 80 mm. Store nedbørmengder senere ut over sommeren reduserte dette til tilnærmet balanse mot slutten av veksttida.

Fordampning fra fri vassflate og kortklipt gras.

Det er på feltet to typer fordampningskar med fri vassflate (Thorsrud 2500 og IHT 2500) samt kar for registrering av potensiell fordampning fra grasbestand som var optimalt forsynt med vatn og som ble klipt hver uke. Det var to gjentak av alle disse målerne. Fra 1986 er det registrert nødvendige meteorologiske data for beregning av potensiell fordampning etter Penman's formel. Disse beregningene er ennå ikke utført for de to siste årene.



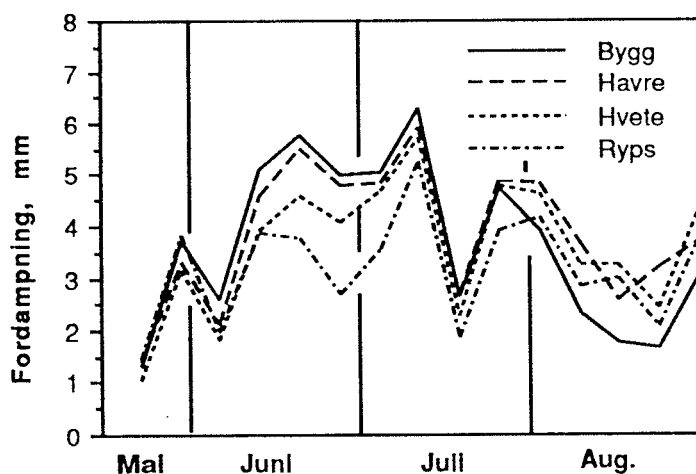
Figur 2. Akkumulert fordampning fra frie vassflater og kortklipt gras.

Figur 2 viser midlere summasjonskurver for disse målerne for årene 1987 og 1988. Som for årene 1984-86 viser målerne med hvit overflate (Thordsrud 2500) også her en tendens til noe mindre fordampning enn de med mørkere farge. Fordampningen fra den kortklippede grasflata ligger her også på noenlunde samme nivå. I første serie (1984/86) var fordampningen fra gras en del høyere enn fra vassflatene (Myhr 1988, fig. 4).

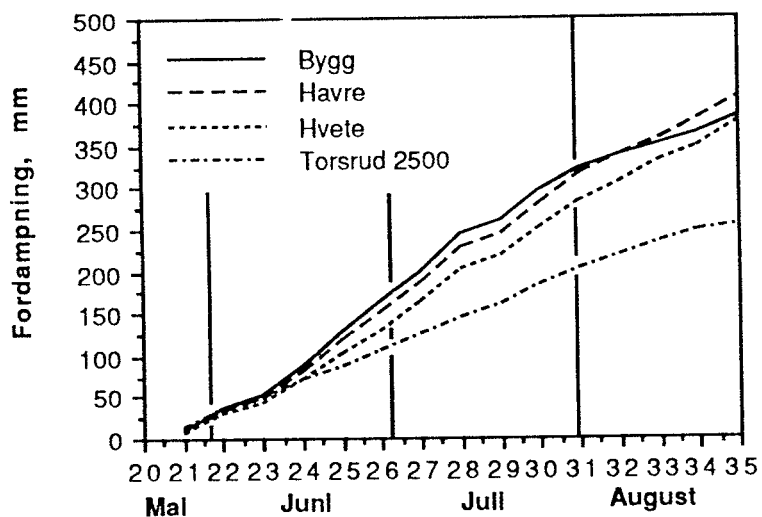
Fordampning fra de ulike vekster.

Bygg har også i denne serien det største vassforbruk fram til over full aksskyting i første halvdel av juli. Fra da av avtar dette relativt raskt og i siste del av veksttida (august) bruker bygget betydelig mindre vatn enn de to andre kornartene

i undersøkelsen. Dette bekrefter tidligere undersøkelser og må ha sammenheng med en tidligere og raskere modningsprosess hos bygget enn hos de to andre kornartene i undersøkelsen.



Figur 3. Midlere daglig fordampning fra ulike vekster i årene 1987/88.



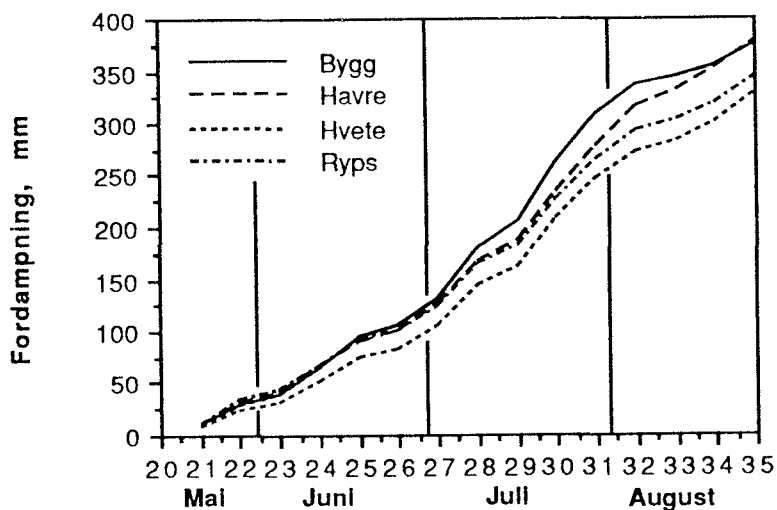
Figur 4. Akkumulert fordampning fra de ulike vekster og fri vassflate 1987/88.

Havre hadde også stort vassforbruk ut over forsommeren. I forhold til bygg holdt dette seg oppe betydelig lengre ut over

veksttida, også etter full aksskyting.

Hvete var den av kornartene som hadde minst vassforbruk. I forhold til havre og bygg var forskjellen særlig stor under perioden med kraftig vekst i siste halvdel av juni.

Ryps viser i middel for 1987/88 betydelig mindre vassforbruk enn kornartene som var med i undersøkelsen. På grunn av vanskelig ugrasbekjempelse i oljevekster, var det i 1988 mye ugras i rypsfeltet og nærmest missvekst på rypsen. Resultatet for dette året og middelerverdier for 1987/88 må derfor ikke tillegges vekt. I 1987 med normal bestand i rypsfeltet (fig. 5), viste rypsen gjennom det meste av veksttida et vassforbruk noe i underkant av det til havren. I slutten av veksttida (august) var nedgangen i vassforbruket til ryps noe sterkere enn hos de andre vekstene i undersøkelsen.



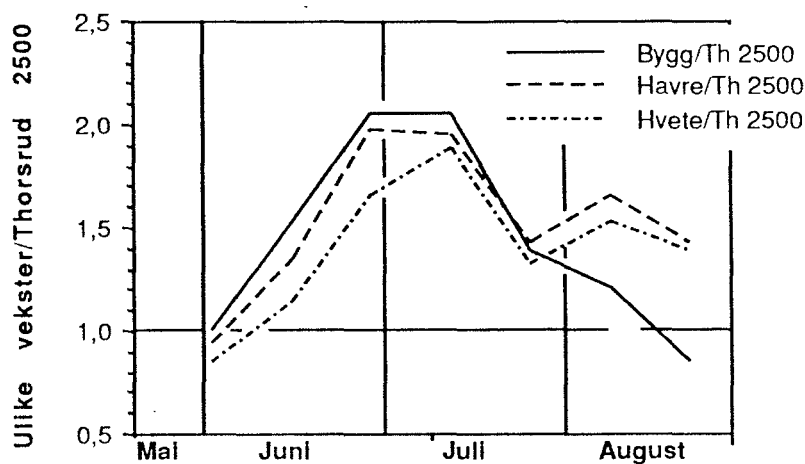
Figur 5. Akkumulert fordampning fra de ulike vekster i 1987.

Praktisk nytte.

Meteorologisk institutt har fra 1967 hatt ca. 40 fordampningsmålere (Thorsrud 2500) spredt ut over landet. Det er naturlig at data fra disse nyttes i regional veiledning for vatning. Med tanke på dette er vassforbruket til de ulike vekster sammenholdt med fordampningen fra denne måleren.

Resultatet fra første serie viste at den potensielle fordampn-

ing fra ulike vekster; bygg, potet og kålrot, var betydelig større i perioder av veksttida enn fordampningen fra frie vassflater. Det samme er også tilfelle med vekstene i den andre serien.



Figur 6. Fordampning fra de ulike vekster i forhold til fordampningen fra fri vassflate (Thorsrud 2500) i 1987/88.

Vekstene i undersøkelsen har vært dyrket med et djup ned til grunnvatnet på 35-40 cm, og tensiometerobservasjoner har vist optimale fuktighetsforhold i rotsonen.

Ved vanlig vatning i praksis, med vatningsintervaller på 8-10 dager, har en optimal jordfuktighet og potensielle fordampningsforhold trolig bare 2-3 dager etter hver vatning. Etter hvert som jorda tørker ut, reduseres vassforbruket og en vil over tid få et noe lavere forholdstall mellom fordampningen fra de ulike vekster og fordampningen fra den frie vassflata enn hva denne undersøkelsen viser.

Materialet kan følgelig ikke nyttes direkte ved praktisk veiledning. Det er nødvendig med ytterligere undersøkelser for å bestemme det aktuelle vassforbruk ved ulike vatningsrutiner under ulike forhold.

Men materialet indikerer at det trolig bør brukes noe større vassmengder gjennom veksttida enn hva som delvis tidligere er

tilrådd. Tilføres vassmengder ved spredervatning tilsvarende fordampningen fra fri vassflate (Thorsrud 2500) vil det for de fleste vekster bygges opp en nedbørdeficit ut over veksttida.

Forskjellen i vassforbruket mellom ulike vekster som blir påvist, må kunne gi seg praktisk utslag i vatningsrutinene. En kan merke seg at det potensielle vassforbruk i et byggbestand gjennom en stor del av veksttida, synes daglig å ligge 1 mm høyere enn i et tilsvarende bestand av hvete.

Ved bruk av permanent vatningsanlegg (Solid set, Center pivot eller gryppvatningsanlegg) med mulighet for vatning hver 2.-4. dag, vil resultatet fra undersøkelsen kunne gi direkte antydninger om nødvendige vassmengder.

Litteratur.

Myhr, E., 1988. Ulike jordbruksveksters potensielle vassforbruk. I Bygg, gras, potet og kålrot. Norsk landbruksforskning 2:51-64. ISSN 0801-5333.

Hugh Riley
Kise forskingsstasjon
N-2350 Nes på Hedmark, Norge

FØLSOMME STADIER FOR TØRKESTRESS HOS JORDBRUKSVEKSTER

I n n l e d n i n g

For å kunne utnytte vanningsanleggene mest rasjonelt, er det nødvendig med opplysninger om hvordan planteartene reagerer på tørke ved ulike utviklingsstadier.

Ved Kise forskingsstasjon er dette spørsmålet undersøkt hos en lang rekke vekster i løpet av de siste 20 årene. Forsøkene er utført på en tørkesvak jord som består av mold- og grusrik leittleire over sedimentær grus. Rotdybden er begrenset til ca. 30-40 cm.

Framgangsmåten ved forsøkene har vært å skjerme forsøksruter fra nedbør med flyttbare tak, vanligvis i 3 eller 4 uker, i bestemte perioder av vekstsesongen. Resten av tiden ble rutene holdt fuktige ved vanning hver gang tensiometre viste - 40 kPa i 5-20 cm dybde.

Avhengig av plantedekket og fordampingskravet, inntraff "tørke" vanligvis etter 10-14 dagers skjerming, når ca. halvparten av jordas tilgjengelig vann var oppbrukt. Virkningen av tørke til ulik tid ble målt ved sammenligning med et forsøksledd som ble holdt fuktig hele tiden.

Resultater for korn, potet, erter og rybs blir diskutert i dette innlegget.

K o r n

Virkningen av tørkeperioder ble undersøkt i to år hos bygg og hvete (Dragland 1979) og i tre år hos havre (Dragland 1984). Hovedtrekkene i avlingsresultatene er vist i tabell 1.

Tabell 1. Relative avlinger av bygg, hvete og havre etter tørke ved ulike utviklingsstadier sammenlignet med ingen tørke.

	Skjermingsperioder		Korn- avling	Halm- avling	Utviklings- stadium
	Uker fra sp.	Feekes skala			
BYGG	1-4	1-7	102	88	Før busk./busk.
	5-7	8-10	74	74	Sen strekning
	*1-7	1-10	58	80	Busk./strekn.
	8-10	10.1-10.5	106	93	Aksskyting
	11-14	11	104	105	Modning
HVETE	1-4	1-7	82	62	Før busk./busk.
	5-7	8-10	64	50	Sen strekning
	*1-7	1-10	49	33	Busk./strekn.
	8-10	10.1-10.5	91	67	Aksskyting
	11-16	11	102	81	Modning
HAVRE	1-3	1-3	96	87	Før busking
	4-6	4-7	82	68	Busk./tidl.strekn.
	7-9	8-10	75	70	Sen strekning
	10-12	10.1-10.5	81	87	Aksskyting
	10-15	10.1-11	76	84	Aksskyt./Modn.
	13-15	11	98	101	Modning

* Vannet én gang under strekningsfasen.

Tørkeperiodene førte generelt til større reduksjon i halmavlingene enn i kornavlingene. Hos alle tre kornarter ble den største avlingsnedgangen funnet når tørke inntraff sent i juni/tidlig i juli, dvs. i den senere delen av strekningsveksten (Feekes 8-10).

Tørke under busking og den tidlige strekningsperioden (Feekes 1-7) reduserte halmavlingen betydelig hos alle kornartene, men tap i kornavling ble bare funnet hos hvete og havre. Hos bygg ble veksten satt kraftig tilbake, men da rutene igjen fikk vann ble det stor dannelse av sideskudd ("etterrenning"). Dette kompenserte for den tidligere tørken når det gjaldt avlingsmengden, men det medførte en modningsforsinkelse på 14 dager og en betydelig forringelse av kornkvaliteten. Det siste ble også funnet hos hvete.

Tørke fra aksskyting fram til blomstring (Feekes 10.1-10.5) ga avlingsnedgang hos hvete og havre, men ikke hos bygg. De førstnevnte bør derfor vannes helt til begynnende gulning, mens hos bygg er det neppe lønnsomt å vanne etter at aksene er fullt synlige. Tørken under modningsfasen hadde ingen virkning på avling, og ga generelt noe bedre kornkvalitet hos bygg og hvete.

P o t e t

Virkningen av tørkeperioder er undersøkt hos flere potetsorter i ulike forsøk:

1975-1976 Saphir (Dragland 1978)

1982-1984 Laila, Beate, Kerrs Pink og Pimpernel (Dragland 1985)

1986-1987 Saturna, Peik, Troll, Beate og Pimpernel (Riley 1988)

I det første forsøket ble det funnet at tidlig tørke (under stolonutvikling) forsinket modning, men ga likevel en viss avlingsøkning. Tørke under knolldanning og knollvekst ga derimot stor avlingsnedgang.

Tabell 3. Relative avlinger av matpotet (>45 mm), settepotet (35-45 mm) og tørrstoff etter tørke ved ulike utviklingsstadier, sammenlignet med ingen tørke.

Tørke- periode	Pimp- ernel	Kerrs Pink	Peik	Beate	Troll	Laila	Saturna
<u>Knoller >45 mm 1. høstetid</u>							
Stolonutv.	133	113	163	139	133	114	120
Knolldann.	71	70	76	55	71	79	58
Knollvekst	35	64	51	44	32	73	31
<u>Knoller >45 mm 2. høstetid</u>							
Stolonutv.	146	123	180	155	140	128	141
Knolldann.	112	111	85	71	86	97	79
Knollvekst	65	78	53	56	50	74	17
<u>Knoller 35-45 mm 1. høstetid</u>							
Stolonutv.	77	67	67	80	61	77	96
Knolldann.	77	93	81	83	87	91	88
Knollvekst	86	113	75	83	96	120	79
<u>Knoller 35-45 mm 2. høstetid</u>							
Stolonutv.	80	71	64	84	69	63	88
Knolldann.	83	87	92	97	100	89	78
Knollvekst	103	111	87	85	116	113	86
<u>Tørrstoff avling 1. høstetid</u>							
Stolonutv.	91	94	97	96	95	101	99
Knolldann.	80	78	79	82	81	79	84
Knollvekst	84	95	84	85	76	99	87
<u>Tørrstoff avling 2. høstetid</u>							
Stolonutv.	112	110	114	113	108	111	101
Knolldann.	107	107	86	93	93	89	81
Knollvekst	84	87	82	84	84	96	88

I de senere forsøkene ble virkningene av tørkeperioder undersøkt hos ulike sorter ved forskjellige høstetidspunkt, henholdsvis ca. 12. august og medio september. Hensikten med dette var å belyse evt. ulike reaksjoner hos tidlige og seine sorter. Resultatene som er vist her er midler av begge forsøk for fellessortene Pimpernel og Beate, og ellers fra enkeltforsøkene.

Sortenes tidlighet kan illustreres ved andelen av bladmassen som var grønn ved første høsting på forsøksleddet med jevn vanntilgang (tabell 2). Pimpernel og Kerrs Pink holdt seg grønn lengst, og Laila og Saturna visnet tidligst. Tørke under stolonutvikling og knolldanning førte til utsatt visning av riset, mens tørke under knollvekst forserte det. Tilveksten mellom første og annen høstetid var størst for Pimpernel, Kerrs Pink og Peik. Troll viste nesten ingen tilvekst til tross for at riset visnet sent.

Tabell 2. Prosent av bladmassen som var grønn ved høsting i august, og tilveksten i tørrstoffavlingen fram til høsting i september.

Tørke- periode		Pimp- 1) ernel	Kerrs Pink	Peik	Beate	Troll	Laila	Sat- urna
Ingen tørke	-	85	81	75	71	70	43	28
Stolonutvikling	1-3	+6	+6	+15	+15	+13	+22	+32
Knolldanning	4-5	+8	+6	+9	+12	+15	+23	+27
Knollvekst	6-7	-21	-36	-45	-39	-47	-30	-28
Avlingsøkning 2) 1.-2. høst		+17	+18	+21	+14	+1	+5	+9

1) Tallene angir utviklingsstadium etter skalaen brukt av Skriver (1988)

2) Tilvekst i prosent på ruter med jevn vanning hele tiden.

Virkningen av tørke på ulike avlingskomponenter er vist i tabell 3.

Avlingen av matpotet (knoller >45mm) var størst hos alle sorter etter tørke under stolonutvikling, både ved tidlig og sen høsting. Tørke under knolldanning reduserte avlingen hos alle sortene ved 1.høstetid. Ved senere høsting viste de senere sortene Pimpernel og Kerrs Pink avlingsøkning også for denne tørkeperioden, mens de tidlige sortene viste fortsatt nedgang. Tørke under knollvekst var skadelig hos alle sortene uansett høstetid.

Avlingen av settepotet (knoller 35-45mm) var minst etter tørke under stolonutvikling. Dette gjaldt ved begge høstetider. Tørke senere i vekstsesongen ga noenganger en økning i denne avlingskomponenten, men alltid på bekostning av totalavlingen.

Avlingen av tørrstoff viste de samme tendensene som for matpotet, men utslagene ved tidlig tørke var mindre. Dette hadde sammenheng med at tørke under stolonutvikling og knolldanning nesten alltid førte til lavere tørrstoffinnhold ved tidlig høsting. Ved senere høsting hadde plantene vanligvis rukket å innta det tapte. Tørke under knollvekst ga betydelig høyere tørrstoffinnhold (1-3%) ved tidlig høsting hos alle sortene. Ved senere høsting viste derimot sortene Pimpernel og Kerrs Pink en nedgang. Dette var fordi disse sortene fortsatte å vokse lenger enn de tidlige sortene.

Den gunstige virkningen av tidlig tørke som er funnet her overensstemmer med resultater fra Sverige (Linnér 1984), men ikke med oppfatninger i andre land. Under skotske forhold skriver MacKerron (1988) at "there is no stage before maturity when dry soil conditions are advantageous". Dette begrunner han med at knollantallet er størst når det er fuktig under den tidlige vekstperioden, fordi antall stengler pr. settepotet da er størst.

Tellinger av knollantallet i våre forsøk bekrefter at det blir ansatt færre knoller ved tidlig tørke (tabell 4). Dette kan være en direkte virkning av tørke, men det kan også ha sammenheng med temperaturforskjeller. Et større antall knoller blir ofte dannet ved 9-10°C enn ved 15-20°C fordi begrenset tilgang på assimilater hindrer at et fåtall knoller vokser på bekostning av de andre (Ng & Loomis 1984). Dette stemmer også med vår erfaring. I 1987, da det var kaldt under knolldanning, ble knollantallet 75% høyere

enn i 1986, da det var varmt i denne perioden.

Tabell 4. Antall knoller pr. plante (middel av alle sorter i forsøket fra 1986-1987).

	<35 mm	35-45 mm	>45 mm	Total
1986 (varm forsommer)	5,0	5,0	2,4	12,4
1987 (kald forsommer)	10,0	8,5	3,1	21,6
Ingen tørke	7,3	7,5	3,1	17,9
Tørke under stolonutv.	4,9	5,8	4,1	14,9
Tørke under knolldann.	8,4	6,9	2,5	17,8
Tørke under knollvekst	9,3	6,7	1,4	17,5

Konklusjonen for vanningspraksis er at en bør vanne tidlig dersom en ønsker mange små knoller, f.eks. ved dyrking av settepotet. Det samme gjelder hvis en vil unngå hulrom i sorter som har lett for danne store knoller, f.eks. Peik og Troll. Ved dyrking av tidligpotet kan det også være gunstig å vanne tidlig hvis markedet aksepterer en stor andel små knoller. Ved sen høsting, derimot, anbefaler vi å utsette vanning til etter ca. tre uker fra oppspiring hos både matpotetsorter og fabrikksorter som brukes til potetmel.

E r t e r

En tradisjonell bladsort ble sammelignet med en halvt-bladløs sort i to år (Riley 1986). Atte overlappende skjermingsperioder ble benyttet, slik at det var et forsøksledd med tørke ved alle viktige utviklingstrinn. Ertene ble dyrket fram til full modning, men resultatene (tabell 5) har trolig gyldighet også for konserverisert.

Tabell 5. Relative avlinger og endringer i noen kvalitetsegenskaper ved tørke under ulike utviklingsstadier av erter, i forhold til ingen tørke.

Utviklingsstadium med tørke	1)	Rismengde		Erteavling		Frø pr. skolm	Vekt (mg)	Vann- prosent
		Bl.	Hbl.	Bl.	Hbl.			
Tidlig veget.	2-4	93	97	98	100	+0,1	0	0,0
Hele veget.	2-5	69	88	72	96	+0,2	-6	-3,8
Tidlig blomst.	5-6	59	67	61	74	-0,2	+2	-8,1
Full blomst.	7	71	70	60	61	-0,3	+18	-13,8
Avblomstring	7-8	80	83	65	61	-0,4	-8	-10,8
Skolmdanning	8-9	98	99	81	78	-0,5	-11	-6,5
Skolmfylling	9-10	94	98	95	100	-0,1	-8	-6,8
Modning	10-11	98	106	101	108	-0,1	-7	+0,8

Bl. = bladsort

Hbl. = Halvt-bladløs sort

1) Tallene angir utviklingsstadium etter skalaen brukt av Skriver (1988)

Planteutviklingen ble sterkest hemmet ved tørke like før eller under blomstring. Antall skolmer pr. plante ble nesten halvert på disse leddene. Tørke under den vegetative vekstfasen eller ved avblomstring/skolmdanning reduserte også skolmantallet, med ca. 25%.

Denne avlingskomponenten stod for den største delen av avlingsnedgangene på disse leddene (opp til 40 % ved tørke under blomstring). Endringer i frøvekt eller antall erter pr. skolm kompenserte bare i liten grad. Nitrogenkonsentrasjonen i ertene ble også redusert ved tørke under og like etter blomstring.

Den halvt-bladløse sorten tålte tørke i den vegetative fasen bedre enn bladsorten. Den viste mindre nedgang i såvel rismengde som i erteavling. Målinger av bladareal tydet på at bladsorten nådde nivået som er nødvendig for full transpirasjon minst en uke

tidligere enn den halvt-bladløse sorten. Dermed kan den ha forbrukt mer vann enn den sistnevnte. En viss nedgang i rismengden ved tidlig tørke kan være en fordel fordi det reduserer legdefaren.

Tørke etter blomstring førte til en viss nedgang i frøvekten, men neppe nok til å påvirke avlingen nevneverdig. Den positive tendensen av tørke under modning skyldes trolig redusert råteangrep.

Mange av tørkeperiodene førte til framskyndet modning. Dette går fram av tallene for vanninnholdet i ertene ca. én uke før høsting. Betydningen av dette avhenger av om ertene dyrkes for konserverindustrien eller fram til modning.

Forsinket modning kan være en fordel i førstnevnte produksjonsform, hvor lengden av perioden med optimal saftighet ofte er begrenset. Ved dyrking til modning, derimot, kan utsatt modning føre til større høstetap på grunn av legde og dryssing, og medfører trolig høyere tørkeutgifter. I dette tilfellet vil en moderat uttørking etter skolmdanning trolig være en fordel.

R v b s

Virkingen av tørke hos vârrybs er undersøkt i fire år (Riley 1989). Avlingsresultatene er vist i tabell 6. Vekstsesongen ble delt i fire perioder som kan relateres til FAO-skalaen slik:

Vegetativ vekst	(FAO 2,1 - 3,3)
Blomstring	(FAO 4,1 - 4,3)
Skolmutvikling	(FAO 4,4 - 5,2)
Modning	(FAO 5,3 - 5,5)

Tidlig tørke førte til sterk hemming av den vegetative veksten i tre av årene, men situasjonen var den motsatte i 1987. Det var ekstremt fuktig i denne perioden i sistnevnte året. Dette førte trolig til betydelig utvasking av nitrogen på uskjemete ledd,

Tabell 6. Relative avlinger av vårrybs etter tørke ved ulike utviklingsstadier sammenlignet med ingen tørke.

Utviklingsfase FAO-skala	Vegetativ 2.1-3.3	Blomstring 4.1-4.4	Skolmutv. 4.4-5.2	Modning 5.3-5.5
<u>Halmmengde</u>				
1985	78	80	87	108
1986	74	85	92	104
1987	117	91	93	115
1988	76	82	103	111
Middel	86	85	94	110
<u>Frøavling</u>				
1985	93	93	93	104
1986	102	52	88	99
1987	107	90	94	104
1988	88	53	95	100
Middel	98	72	92	102

mens det lave fordampingskravet det året hindret tørkeskade på leddet med skjerming. Tidlig tørke hadde likevel liten virkning på frøavlinga. En viss reduksjon i halmmengden er trolig en fordel i praksis, siden det fører til mindre legde og lettere innhøsting.

Tørke under blomstring reduserte den høstete halmmengden vel så mye som tørke i den vegetative vekstfasen. Dette skyldes at strekningsveksten ennå ikke er avsluttet ved begynnende blomstring. I to av årene førte tørke under blomstring til betydelige tap av frøavling. I begge disse årene, 1986 og 1988, var fordampingskravet meget stort under denne perioden.

Tørke under skolmutvikling hadde som ventet liten innvirkning på halmmengden, men det ga en viss nedgang i frøavling i alle år.

Tørke under modning førte til litt mindre visning av bladverket, og ga dermed litt høyere halmmengde. Det hadde imidlertid ingen innvirkning på frøavlingen.

Nitrogenkonsentrasjonen i frøtørrstoffet var i middel 0,26% høyere etter tørke under blomstring og 0,15% høyere etter tørke i den vegetative vekstfasen enn ved jevn vanning. For det samlede materialet viste denne egenskapen høy negativ korrelasjon med avlingsmengden ($r = -0,81$), på samme måte som er vanlig hos korn.

Oljekonsentrasjonen i frøet ble som regel redusert ved tørke under blomstring og i den vegetative vekstfasen. Lignende resultat er funnet i undersøkelser fra andre land. Endringene var imidlertid små ($-1,5\%$ i middel av alle år). Denne egenskapen viste en positiv korrelasjon med avlingsmengde ($r = 0,68$) og en sterk negativ korrelasjon med nitrogenkonsentrasjon ($r = -0,90$). Dette tyder på at oljedannelsen skjer sent i frøutviklingen, mens proteinmengden er bestemt på et tidlig tidspunkt.

Prioritering av vanningsbehov

Vanningskapasiteten på den enkelte gården er ofte for liten til at alle vekster kan vannes når det oppstår underskudd hos flere samtidig. Derfor blir det ofte spurt om prioritetsrekkefølgen. For å gi et fullstendig svar på dette bør man vurdere flere faktorer ved siden av hensyn til plantenes tørkefølsomhet. Slike faktorer kan være vekstenes relative verdi, feltstørrelsen og tørkeutsattheten av de ulike skiftene.

Med utgangspunkt i vekstenes tørkefølsomhet ved ulike utviklingsstadier, og med spiretidene som er vanlige på sørøstlandet i Norge (dvs. ca. 15.mai for korn og oljevekster, 22.mai for erter, 29.mai for tidligpotet og 5.juni for seinpotet) foreslås prioriteringen som er gitt i tabell 7.

Tabell 7. Prioritering av vanningsbehov hos korn, potet, erter og rybs, til ulik tid i vekstsesongen. (SH=svært høy, H=høy, M=middels, L=lav prioritet).

Dato:	Før 1.6	1.6-21.6	22.6-12.7	13.7-2.8	Etter 2.8
Bygg	M	H	M	L	L
Hvete,havre	M	SH	H	M	L
Tidligpotet	L	H	SH	SH	M
Settepotet	L	H	SH	SH	M
Sein potet	L	L	H	SH	SH
Erter	L	M	SH	H	L
Rybs	L	M	H	H	L

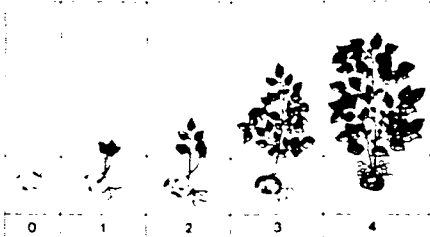
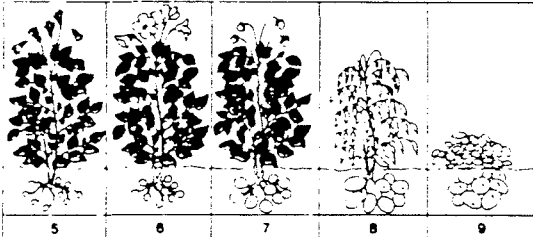
L i t t e r a t u r

- Dragland, S. 1978. Virkninger av tørkeperioder og to nitrogenmengder på potetsorten 'Saphir'. Forskning og forsøk i landbruket 29, 277-299.
- Dragland, S. 1979. Virkninger av forskjellig vasstilgang til bygg og hvete. Forskn. fors. landbr. 30, 399-413.
- Dragland, S. 1984. Virkninger av tørke ved ulike utviklingsstadier av havre. Forskn. fors. landbr. 35, 49-58.
- Dragland, S. 1985. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos fire potetsorter. Forskning og forsøk i landbruket 36, 159-167.
- Linnér, H. 1984. Markfuktighetens inflytande på evapotranspiration, tillväxt, näringsupptagning, avkastning och kvalitet hos potatis (*Solanum tuberosum* L.). Rapport 142, Avd. för lantbrukets hydroteknik, SLU, 153 s.
- MacKerron D. K. L. 1988. Timing of irrigation in relation to yield and quality of potatoes. Kap. 7, s. 54-60 i "Irrigation Potatoes", UK Irrig. Assoc. Tech. Mon. 2, Cranfield Press.
- Ng, E. og R. S. Loomis, 1984. Simulation of growth and yield of

- the potato crop. Simulation Monographs Pudoc Wageningen.
- Riley, H. 1985. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos ert.
Forskn. fors. landbr. 37, 105-113.
- Riley, H. 1988. Vanningsforsøk 1985-1987 og varsling av
vanningsbehov. Aktuelt fra Statens fagtjeneste for land-
bruket, nr. 2, s. 87-106.
- Riley, H. 1989. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos vårrybs.
Norsk landbruksforskning. (Under trykking).
- Skriver, K. 1988 (Red.) Oversikt over Landsforsøgene.
Landsudvalget for Planteavl, 248 s.

VEDLEGG 1. Utviklingsstadier i vekstene som er omtalt i dette innlegget (Facsimile etter Skriver 1988).

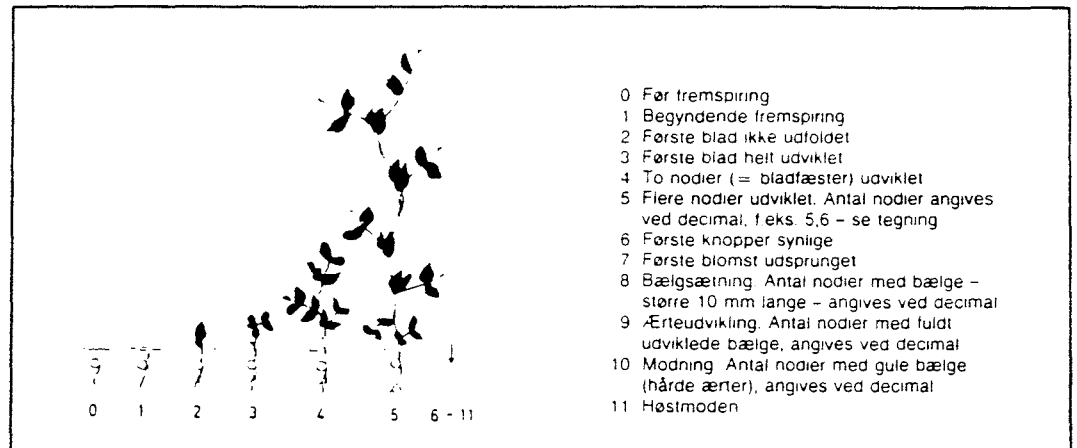
Utviklingsstadier for kartofler

									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 Lægning. Begyndende spiring 1 Fremspiring 2 Blad- og stængeludvikling. Mindst 1 løvblad med småblade utviklet 3 Længdevækst. Plante høyde i cm noteres Begyndende knolddannelse 4 Rækkerne lukker					5 Blomsterknopper dannes 6 Blomstring (hvis sorten blomstrer) 7 Frugter (kartoffelæbler) dannes (hvis sorten har blomstret) 8 Naturlig nedvisning. Noter evt. nedvisning 9 Toppen nedvisnet. Knolde afmodnet				

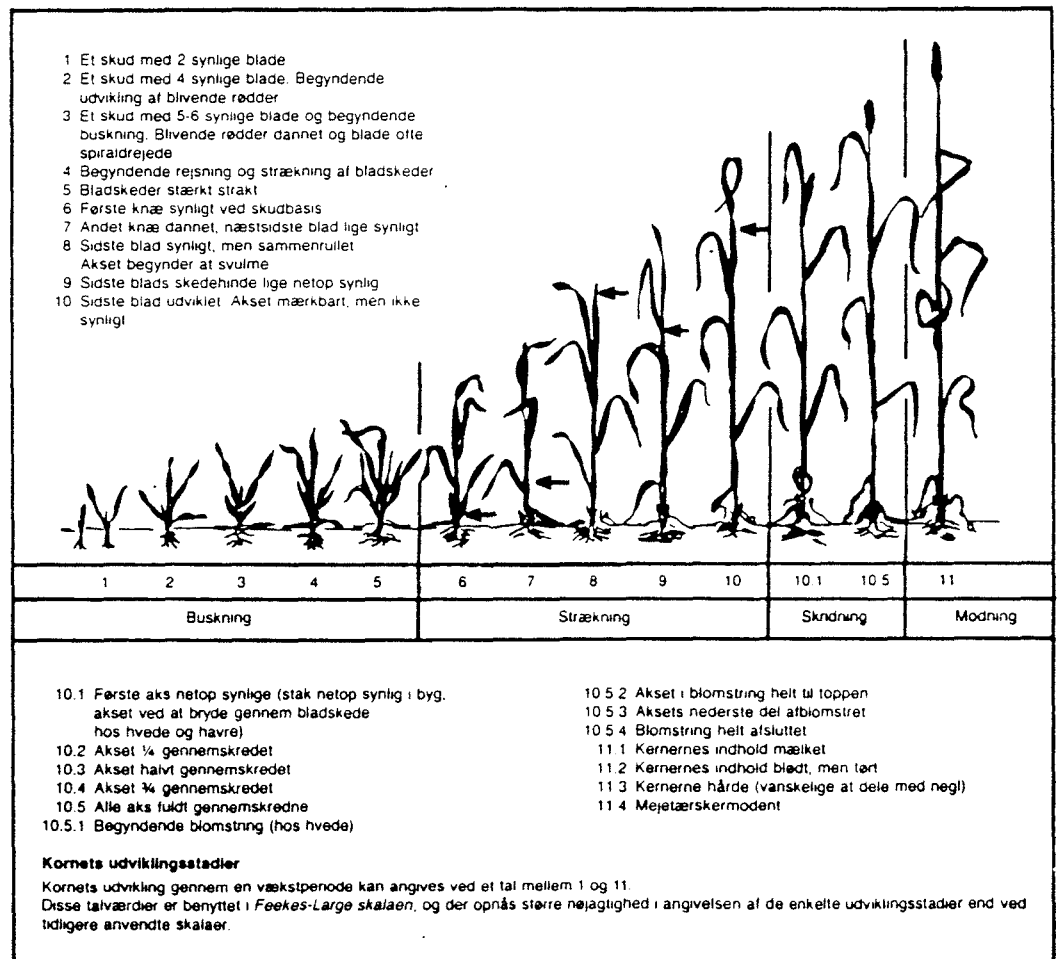
Utviklingsstadier for raps og rybs (alle angivelser gjelder topsskuddet)

1	2 4	3 1	3 2	3 3	4 2	5 3
Kimpl	Roset	Knop			Blomst	Modning
Figurer efter A GRAVAUD, beskrivelser efter FAO						
0 Før fremspiring	3 Knopstadium	4 Blomstringsstadium	5 Modningsstadium			
1 Kimplantestadium	3.1 Tæt knopsamling midt i bladrosetten.	4.1 En blomst udsprunget	5.1 De første frø har fuld størrelse, gennemskinnelige			
2 Rosetstadium	3.2 Mindst 1 knop helt fri fra knopsamlingen, der er synlig oven for bladrosetten	4.2 Mange blomster udsprunget, de første skulper begynder at vokse	5.2 De første frø grønne.			
2.1 Første blivende blad	3.3 Mindst én blomsterknop viser gult.	4.3 Faldende blomst, de første skulper begynder at fyldes	5.3 De første frø grønbrune.			
2.2 Andet blivende blad (+ 0.1 for hvert blad)		4.4 Blomstringen afsluttet, frøene i de tidligst udviklede skulper vokser	5.4 De første frø brune			
			5.5 Alle frø brune, planterne visnende.			
Rapsens udviklingsstadier gennem en vækstperiode kan angives ved et tal mellem 1 og 5 Disse talverdier er benyttet i FAO-skalaen, og der opnås hermed større nøjagtighed i angivelsen af de enkelte udviklingsstadier						

Udviklingsstadier af ærter



Fekes skala



Byg og ærters tørkefølsomhed i forskellige vækstfaser

Indledning

Der er tidligere udført vandingsforsøg med byg og ærter under danske forhold (Jørgensen, 1980, Jensen, 1987). Det var dog ønskeligt at foretage en opdeling i kortere vækstfaser end tidligere samt nøje at undersøge hvilke udbyttekomponenter, der påvirkes ved tørke. Endvidere var det målet med nærværende forsøg, der udførtes fra 1986 til 1988, at afprøve en række målemetoder til påvisning af vandstress.

Metode

Vårbyg (Triumph) og foderært (Bodil) blev dyrket i et karforsøgsanlæg med automatisk overdækning i tilfælde af nedbør. Jorden i karrene var grovsandet med ca. 44 mm tilgængeligt vand. Vandingen styredes ved hjælp af tensiometre, således at der i det fuldt vandede led blev vandet, når halvdelen af jordens tilgængelige vandmængde var brugt. Udtørring bestod i en udsættelse af vanding til et jordvandsunderskud på ca. 40 mm, svarende til at godt 90 pct. af den tilgængelige vandmængde var brugt.

Forsøgsplanen så ud som følger:

Byg

<u>Forsøgsled</u>	<u>Udtørringsfase (Feekes skala)</u>
1	Fuldt vandet
2	Buskning (2-5)
3	Strækning (6-10)
4	Skridning, blomstring (10.1-10.5.4)
5	Tidlig kernefyldning (11.1)
6	Sen kernefyldning, modning (11.2-11.4)

Ærter

<u>Forsøgsled</u>	<u>Udtørringsfase</u>
1	Fuldt vandet
2	Vegetativ fase
3	1. del af blomstring
4	2. del af blomstring
5	Bælgfyldning
6	Modning

Resultater

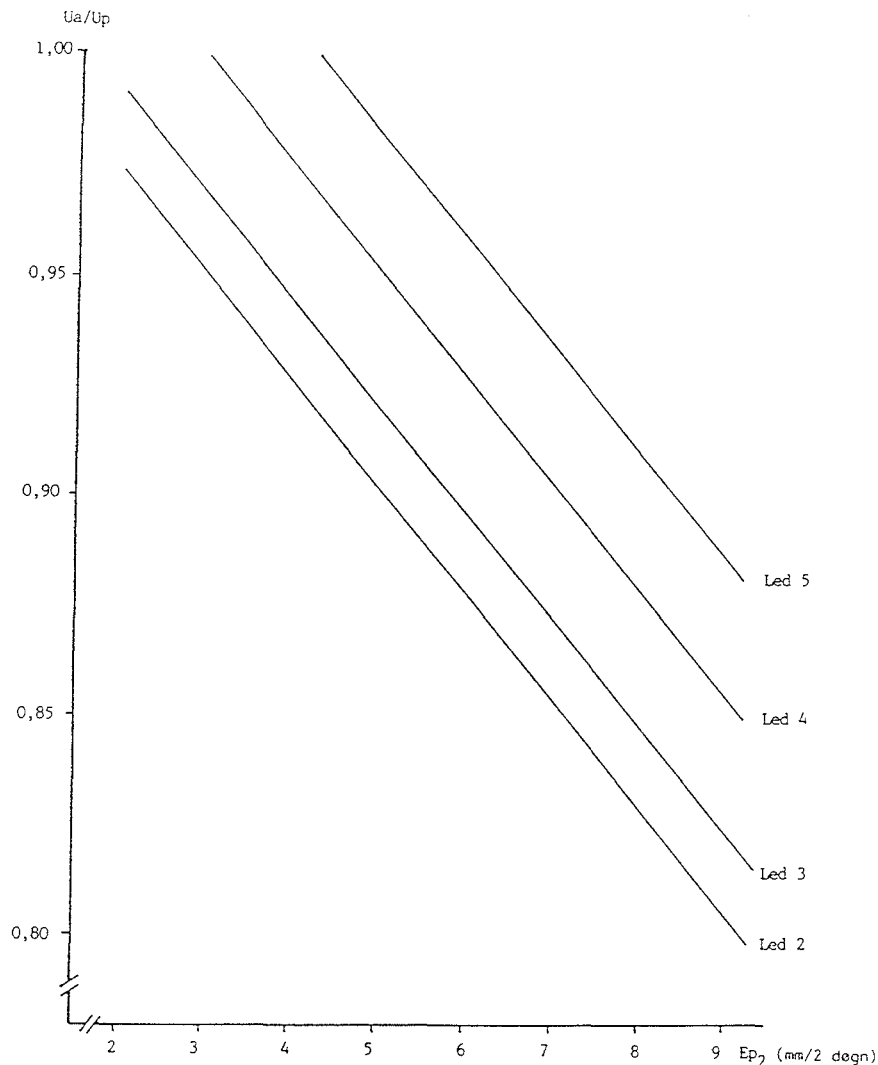
Byg

På trods af, at udtørringerne altid forløb til samme jordvandindhold og blev påført ved samme udviklingstrin fra år til år, fandtes den største udbyttenedgang i forskellige vækstfaser i de 3 år (tabel 1). I 1986 var udbyttet lavest efter udtørring i tidlig kernefyldning, i 1987 efter udtørring i strækningsfasen og i 1988 efter udtørring i buskningsfasen. Udtørring under sen kernefyldning medførte ingen signifikante udbyttereduktioner.

Tabel 1. Kerneudbytte (g/kar).

År/Forsøgsled	1	2	3	4	5	6	LSD
1986	40,9	37,4	-	36,4	32,8	39,0	4,0
1987	67,7	66,9	62,9	64,4	65,8	67,6	4,3
1988	53,9	45,2	53,8	52,4	53,9	50,7	4,6

Det synes nærmere at være det aktuelle klima under udtørringen, der var afgørende for bygafgrødens reaktion (fig. 1). Figuren er dannet ved analyse af en lineær model for sammenhængen mellem den potentielle fordampning i de sidste 2 døgn af udtørningsforløbet og relativt udbytte ((udbytte i udtørret led)/(udbytte i fuldt vandet led)). Den negative korrelation imellem potentiel fordampning og relativt udbytte er signifikant ($p < 0,002$), mens forskellene mellem forsøgsled kun har en p-værdi på 0,1. En stigning i potentiel fordampning på 1 mm/døgn i sidste del af udtørningsforløbet medførte en udbyttereduktion på 4,8 pct. i forhold til fuldt vandet led, og som det fremgår af figuren, var der en tendens til, at udbyttet i de sene vækstfaser først påvirkedes ved en højere potentiel fordampning end de tidlige faser.

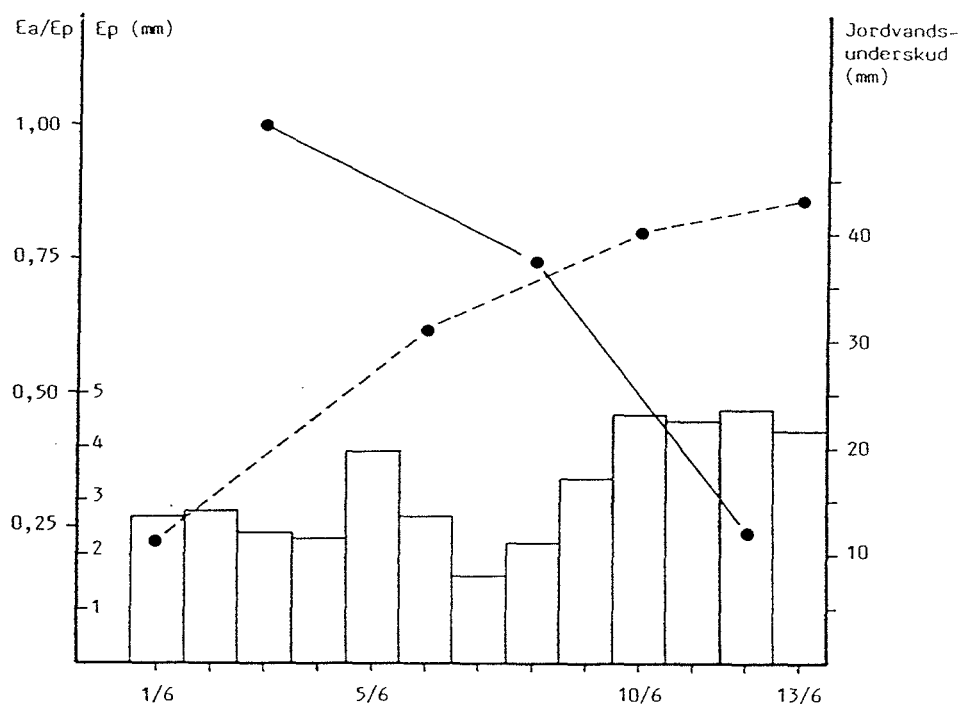


Figur 1. Sammenhæng mellem fordampningen de sidste 2 døgn af udtørningsforløbet (Ep_2) og relativt udbytte (U_a/U_p). $R^2 = 0,58$ ved brug af 22% af frihedsgraderne.

Mogensen (1980) indregnede effekten af det aktuelle klima ved at sammenholde relativt udbytte med relativ fordampning, hvorved han ligeledes påviste størst tørkefølsomhed i tidlige vækstfaser. Day et al. (1987) anfører, at byg er mindre følsom for sen tørke, blot temperaturen ikke er ekstrem høj.

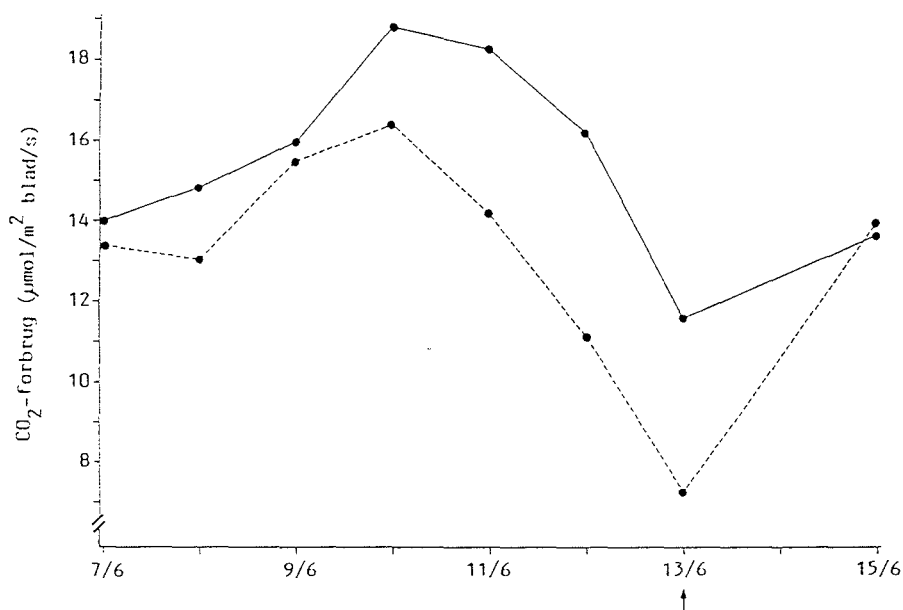
Samspillet mellem jordvandsunderskud, klima og planteproduktion illustreres af følgende målinger på en bygafgrøde under udtørring i strækningsfasen, 1988 (fig. 2+3). Afgrøden blev opvandet på 2 tidspunkter: Ved 40 mm's underskud (det normale tidspunkt i forsøget) og 3 dage senere ved 43 mm's underskud. Efter den tidlige opvanding blev opnået samme

udbytte som i fuldt vandet led, mens udbyttet efter yderligere 3 dages udtørring ved høj potentiel fordampning reduceredes med 12 pct.



Figur 2. Jordvandsunderskud (●---●), potentiel fordampning (E_p , søjler) og relativ fordampning (E_a/E_p , ●—●) under udtørring i byggens strækningsfase, 1988.

Figur 2 viser, hvorledes jordvandsunderskuddet stiger, dog langsommere efterhånden som næsten hele den tilgængelige vandmængde er brugt. Det afspejles i, at forholdet mellem fordampningen i det udtørrede forsøgsled og fordampningen i fuldt vandet led (E_a/E_p) falder.



Figur 3. CO_2 -forbrug i fuldt vandet (●—●) og udtørret (●---●) forsøgsled i byggens strækningsfase, 1988. Målingerne er foretaget på blad nr. 7 omkring kl. 9 (normaltid). ↑: Det udtørrede forsøgsled er opvandet efter dagens målinger.

Figur 3 viser fotosyntesen målt på enkeltblade gennem udtørningsperioden. Det fremgår, at fotosyntesen i det udtørrede forsøgsled har været mindsket fra d. 7. juni, men først markant fra d. 10., hvor klimabelastningen steg (se Ep i fig. 2) samtidigt med at den tilgængelige vandmængde var næsten opbrugt.

Det enkelte blads fotosyntesekapacitet blev ikke permanent skadet, da fotosyntesen pr. bladareal 2 dage efter genopvanding (d. 15. juni) var lige stor i de 2 forsøgsled. Men den manglende stofproduktion fra den forløbne tørkeperiode har forårsaget et mindsket bladareal, hvilket bevirkede at forskellen i tørstofmængde mellem det udtørrede og fuldt vandede forsøgsled øgedes i perioden efter genopvanding. Samtidigt afgøres det endelige skudantal netop omkring strækningsfasen (Søegaard, 1986), og udtørringen udløste et øget skudhenfald, hvorved det endelige aksantal blev reduceret med 18 pct.

Udbyttekomponenterne aksantal, kerner pr. aks og kernestørrelse bestemmer tilsammen det endelige udbytte i kornafgrøder. Størrelsen af de enkelte komponenter afgøres på forskellige tidspunkter under vækstforløbet, og tørke påvirker særlige udbyttekomponenter alt efter hvilken vækstfase den påføres i.

Label 2. Udbyttekomponenter i byg: Kerneantal pr. aks, aksantal pr. kar, pct. kerner mindre end 2,2 mm og høstindeks (kerneudbytte/totaludbytte).

Forsøgsled	1	2	3	4	5	6	LSD
Kerneantal 1987	20,2	19,2	18,4	19,8	21,1	19,4	n.s.
1988	18,3	16,2	19,2	19,1	19,3	18,9	1,4
Aksantal 1987	89,5	99,4	88,1	86,7	85,2	90,1	6,8
1988	80,7	83,4	77,6	75,9	76,4	79,2	n.s.
% kerner < 2,2 mm 1986	14,5	15,0	-	9,2	29,5	23,9	7,0
Høstindeks 1986	0,47	0,49	-	0,45	0,41	0,45	0,02

Indenfor visse grænser kan der efter påvirkning af én udbyttekomponent ske en kompensation i afgrøden ved at størrelsen af en anden komponent ændres. I tabel 2 er angivet nogle eksempler på udbyttekomponenter fra nærværende forsøg. I overensstemmelse med Day et al. (1978) bevirkede udtørring i buskningsfasen en reduktion i kerneantallet pr. aks både i 1987 og 1988. Til gengæld øgedes aksantallet, hvorved kerneudbyttet i 1987 forblev uændret, en reaktion som også Dragland (1979) har konstateret. I 1988 kunne afgrøden derimod ikke kompensere fuldt, og udbyttet reduceredes. Forklaringen er formodentlig en meget lav potentiel fordampning på 1,5 mm/døgn under udtørringen i 1987 mod 3,9 mm/døgn i 1988.

Udtørring i tidlig kernefyldning kan fremskynde afgrødens modning, standse indlejringen i kernen og derved mindske den endelige kernestørrelse, som det skete i 1986, (forsøgsled 5, tabel 2) hvor den potentielle fordampning under udtørringen var 4,1 mm/døgn. Ikke kun den totale stofproduktion, men også omlejring fra halm til kerne blev påvirket, hvilket fremgår af det øgede høstindeks.

Ærter

Resultaterne for ærter viste tydelige forskelle i tørkefølsomhed mellem forskellige vækstfaser. I alle 3 forsøgsår medførte udtørring i første del af blomstringen den største udbyttereduktion, efterfulgt af udtørring i anden del af blomstringen (tabel 3).

Udtørring i vegetativ fase, bælgfyldningsfasen og i modningsfasen medførte ingen signifikante udbytteeffekter. Både Riley (1986) og Jensen (1987) fandt ligeledes størst udbyttenedgang efter tørke i blomstringsfasen, men de fandt også visse år signifikant effekt af tørke før og efter blomstring. At det ikke var tilfældet i nærværende forsøg, skyldes formodentlig det meget lave indhold af tilgængeligt vand i forsøgsjorden, hvilket medførte, at perioden med stærk udtørring (tension > 0,8 bar i 20 cm's dybde) kun strakte sig over ca. 5 dage mod oftest 10-15 dage hos Riley (1986). Nedsat stofproduktion under kraftig udtørring fik derved relativ mindre betydning for det endelige udbytte.

Tabel 3. Ærteudbytte (g/kar).

År/Forsøgsled	1	2	3	4	5	6	LSD
1986	77,7	76,1	62,5	69,6	77,9	-	11,3
1987	55,6	56,6	47,8	55,2	53,1	57,7	n.s.
1988	68,6	68,6	47,8	55,4	-	56,1	10,8

Udbyttet mindskedes efter tørke i blomstringsfasen alene på grund af et mindre bælgantal (tabel 4), idet hverken ærteantal pr. bælg eller frøvægt viste signifikante ændringer.

Tabel 4. Antal bælg pr. kar.

År/Forsøgsled	1	2	3	4	5	6	LSD
1986	95,3	90,9	67,1	76,5	93,1	-	15,9
1987	81,1	69,5	60,8	71,1	62,7	83,6	13,0
1988	85,2	83,5	65,5	75,0	-	88,2	8,6

Halmudbyttet blev reduceret mest efter de 2 tidlige udtørninger (tabel 5), hvilket kan være en fordel med henblik på at mindske angreb af svampesygdomme og undgå lejesød. Det er dog kun ved udtørring i den vegetative fase, at ærteudbyttet samtidig fastholdes.

Tabel 5. Halmudbytte, ærter (g/kar).

År/Forsøgsled	1	2	3	4	5	6	LSD
1986	80,6	70,4	61,4	69,3	75,4	-	8,3
1987	50,4	39,0	37,1	48,0	44,3	49,6	n.s.
1988	66,5	62,1	51,6	56,5	-	63,9	7,3

Måling af tørkestressparametrene relativt vandindhold, osmotisk potential og prolinindhold viste, at selvom udbyttet altid var lavest efter tørke i første del af blomstringen, udviste ærterne ofte ligeså stor eller større tørkestressreaktion efter udtørring i de andre vækstfaser. I tabel 6 er således vist prolinindholdet ved maksimal udtørring i 1986 og 1987, og det fremgår, at der begge år er akkumuleret ligeså meget prolin i forsøgsled 4 og i 1987 også i led 2, som der akkumuleres i led 3.

Tabel 6. Prolinindhold ved maksimal udtørring af ærter (mg prolin/g tørstof).

År/Forsøgsled	2	3	4	5	LSD
1986	0,42	3,14	3,14	0,37	1,52
1987	3,37	3,31	4,37	1,62	n.s.

Konklusion

I vækstfaserne fra buskning til kernefyldning fandtes udbyttenedgang efter udtørring hos vårbyg.

Høj potentiel fordampning i sidste del af udtørningsforløbet øgede udbyttenedgangen.

Der var en tendens til faldende følsomhed for høj fordampning i løbet af vækstperioden.

Ærter var særdeles tørkefølsomme i første del af blomstringsperioden.

Måling af plantefysiologiske stressreaktioner viste lige store udslag i alle vækstfaser, men kun i blomstringsfasen medførte stresspåvirkningen en signifikant reduktion i bælgantallet og dermed i udbyttet.

Udtørring under ærters vegetative udvikling kan mindske halmmængden uden at påvirke frøudbyttet.

Litteratur

Day, W., Lawlor, D.W. & Day, A.I. 1987. The effect of drought on barley yield and water use in two contrasting years. Irr. Sci. 8, 115-130.

- Day, W., Legg, B.J., French, B.K., Johnston, A.E., Lawlor, D.W., Jeffers, W. De C. 1978. J. Agric. Sci. Camb. 91, 599-623.
- Dragland, S. 1979. Virkninger av forskjellig vasstilgang til bygg og hvete. Forskn. Fors. Landbr. 30, 399-413.
- Jensen, F. 1987. Vandingsbehov i forskjellige vækstfaser hos ærter. Tidsskr. Planteavl 91, 113-119.
- Jørgensen, V. 1980. Vandingsfrekvensens indflydelse på udbytte og vandforbrug i byg. Tidsskr. Planteavl 84, 335-341.
- Mogensen, V.O. 1980. Drought sensitivity at various growth stages of barley in relation to relative evapotranspiration and water stress. Agron. J. 72, 1033-1038.
- Riley, H. 1986. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos ert. Forskn. Fors. Landbr. 37, 105-113.
- Søegaard, K. 1986. Deling af kvælstofgødning til vandet byg. Tidsskr. Planteavl beretning nr. S1859.

Annette Andersen
Statens Planteavlsforsøg
Afdeling for Kulturteknik
Flensborgvej 22, St. Jyndeved
DK-6360 Tinglev

VANDING I SÆDSKIFTET

=====

INDLEDNING

=====

I forbindelse med vanding drøftes ofte den akkumulerede effekt af vanding og langtidsvirkningen med hensyn til næringsstoffer. Til belysning heraf blev der på grovsandet jord etableret et sædskifteforsøg med og uden vanding.

FORSØGSPLAN

=====

Der anlagdes et fire-årigt sædskifte i fire marker (rækker). Der gennemførtes to rotationer.

Sædskiftet fremgår af nedenstående oversigt:

	Mark I -----	Mark II -----	Mark III -----	Mark IV -----
1975	Byg m. udlæg			
1976	1.års græs	Byg m. udlæg		
1977	2.års græs	1.års græs	Byg m. udlæg	
1978	Byg	2.års græs	1.års græs	Byg m. udlæg
1979	Byg m. udlæg	Byg	2.års græs	1.års græs
1980	1.års græs	Byg m. udlæg	Byg	2.års græs
1981	2.års græs	1.års græs	Byg m. udlæg	Byg
1982	Hvede	2.års græs	1.års græs	Byg m. udlæg
1983	(Byg)	Hvede	2. års græs	1.års græs
1984		(Byg)	Hvede	2.års græs
1985			(Byg)	Hvede
1986				(Byg)

Hver mark var inddelt i fire blokke (gentagelser), og der indgik fire forsøgsled:

1. Uvandet
2. Vanding af græs
3. Vanding af korn og græs
4. Vanding af korn

Til byg med udlæg var desuden tre forskellige niveauer af kvælstofgødning:

x. 60 kg N pr. ha

y. 90 kg N pr. ha

z. 120 kg N pr. ha

Parcellerne var fordelt systematisk i en række fra nord til syd i hver mark, som var delt på langs i to halvdele med hver sin type af udlæg:

a. Græsblanding

b. Kløver-Græsblanding

RESULTATER

=====

BYG MED UDLÆG

Der var ingen effekt af typen af udlæg på kerneudbyttet i byg med udlæg.

Af fig.1. ses en tydelig effekt af vanding, mens eftervirkningen af vanding i græs efter første rotation var af ubetydelig størrelse.

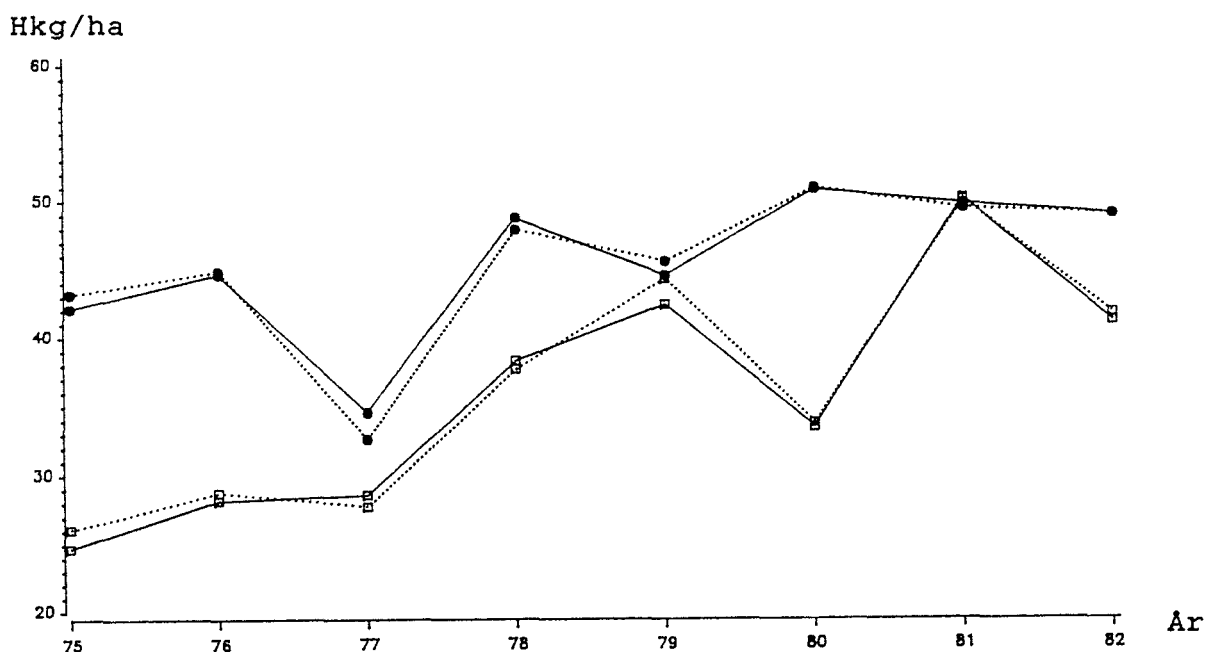


Fig.1. Kerneudbytte i byg med udlæg. Byg vandet • , byg uvandet □
græs vandet , græs uvandet — .

Forskellen imellem vandet og uvandet var statistisk sikker. I gennemsnit af de otte år gav vanding et merudbytte på 9,4 hkg kerne og 7,9 hkg halm pr.ha, svarende til henholdsvis 26% og 22% af udbyttet i uvandet. Eftervirkningen på kerneudbyttet i anden rotation var 0,4 hkg pr.ha (1%), som modsvarede af en lige så stor men negativ effekt på halmudbyttet.

Der var store forskelle imellem årene. Udbytteforskellen imellem de to ekstremer 1977 og 1981, som begge målt i mark III, var

18,9 hkg kerne pr. ha. Det meget lave udbytte i 1977 hænger antagelig sammen med en stor nedbørsmængde i april måned, hvorved meget af gødningen kan være udvasket. I det bedste år, 1981, var foråret meget lunt og sommeren kølig med et ringe antal soltimer. Der var ringe nedbør i april, men stor nedbør i både maj og juni. Der blev ikke vandet i 1981. I 1980 var den samlede nedbør for maj-juli af samme størrelsesorden som i 1981, nemlig ca. 100 mm over normalen, men fordelingen var anderledes, idet nedbøren i maj 1980 var meget ringe. Dette har været medvirkende til en udbytteforskel på 16,4 hkg kerne imellem de uvandede led i 1980 og 81, mens udbytterne i vandet var næsten ens.

De tre forskellige N-niveauer gav betydelige udbytteforskelle. Gødskning med 90 og 120 kg N pr.ha gav merudbytter på henholdsvis 4,7 og 6,2 hkg kerne pr.ha i forhold til udbyttet ved 60 N. For halm var de tilsvarende merudbytter 5,4 og 7,7 hkg pr.ha.

Der var desuden en signifikant positiv vekselvirkning imellem vanding og kvælstofgødskning, idet merudbyttet af kerne ved vanding øgedes med øget N-tilførsel:

	60 N	90 N	120 N	
Vandet	40,8	46,7	48,8	Hkg/ha
Uvandet	33,4	36,8	37,9	Hkg/ha

Merudbyttet for vanding var således ved laveste N-niveau 7,4 hkg og ved højeste N-niveau 10,9 hkg kerne pr.ha, svarende til henholdsvis 22% og 29% af udbyttet i uvandet.

GRÆS, 1.BRUGSÅR

Typen af udlæg var af afgørende betydning for græsudbyttet i 1. brugsår. Den rene græsblanding gav i gennemsnit af alle led og år 130 hkg plantetørstof pr.ha, mens kløvergræsblandingen kun gav 97 hkg.

År	76	77	78	79	80	81	82	83	Gns.	
Græs	94	117	142	138	146	153	121	125	130	Hkg/ha
Kløvergræs	74	114	78	88	106	121	98	99	97	Hkg/ha

Kløvergræsudbyttet var alle år lavere end udbyttet af rent græs. Den største udbytteforskel på 64 hkg målt i 1978, hvor kløveren var angrebet af en bladpletsvamp. Udbyttene vil imidlertid være stærkt afhængig af gødskningen, men da denne blev ændret i løbet af årene, skal det her kun anføres, at kløvergræs blev tilført ca. 100-250 kg N pr.ha mindre kvælstof end rent græs, som tilførtes ca. 460 kg N pr.ha om året. Næst efter udlæg var forsøgsleddet den faktor, som havde størst betydning for græsproduktionen i 1.års græs, se fig.2.

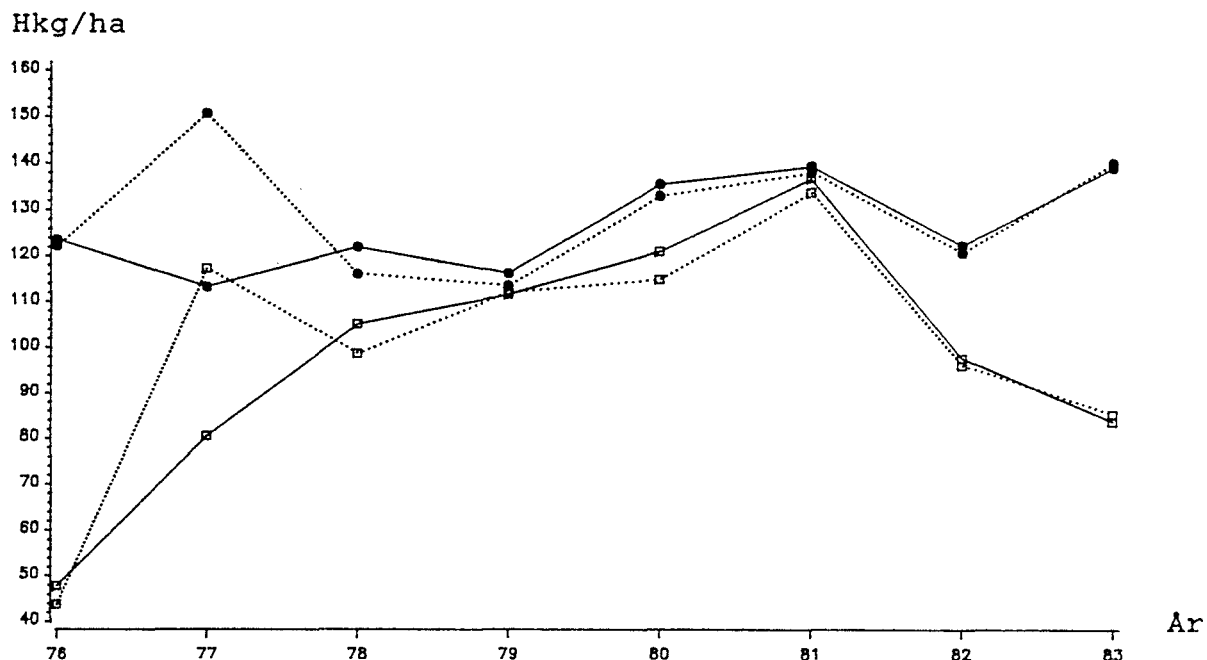


Fig. 2. Udbytte af plantetørstof i 1.års græs. Græs vandet ● , græs uvandet □ , korn vandet..... , korn uvandet — .

Vandingseffekten var relativt størst i kløvergræs, hvor det gennemsnitlige merudbytte var 30 hkg mod 27 hkg i rent græs. Det svarer til en forøgelse på henholdsvis 36% og 23% af udbyttet i uvandet. Hvidkløveren blev øjensynlig favoriseret ved vanding, idet der var større dækningsgrad af kløver i de vandede end i de uvandede parceller. Der sås endog i flere tilfælde signifikant positiv eftervirkning af vanding til byg på dækningsgraden af kløver.

Græsproduktionen varierede meget fra år til år. Det laveste gennemsnitsudbytte på 84 hkg tørstof pr.ha målt i 1976, som var præget af meget ringe nedbør i juni, juli og august måned, mens det højeste gennemudbytte på 137 hkg målt i 1981 (se tidligere afsnit).

Eftervirkningen fra vanding i byg var de fleste år negativ, og som gennemsnit af alle år på nær 1977 var udbyttenedgangen 2,4 hkg pr.ha (ca.2%). I 1977 sås imidlertid en kraftig positiv eftervirkning i form af et merudbytte på 37 hkg plantetørstof. Det skyldtes, at græsset i de uvandede parceller fra året før måtte sås om i foråret og derfor ikke blev høstet før anden slæt.

GRÆS, 2.BRUGSÅR

I modsætning til 1.brugsår havde typen af udlæg ingen signifikant betydning for græsudbyttets størrelse i 2. brugsår, hvilket igen hænger sammen med gødskningen, idet kløvergræs i 2.brugsår blev tilført samme mængde kvælstof som rent græs de første fem år, mens der de sidste tre år blev tilført en lidt mindre kvælstofmængde.

I gennemsnit af alle led og år høstedes 118 hkg plantetørstof i

såvel græs som i kløvergræs:

År	77	78	79	80	81	82	83	84	Gns.	
Græs	128	141	118	125	124	97	108	103	118	Hkg/ha
Kløvergræs	124	140	128	124	128	81	95	121	118	Hkg/ha

Hvidkløveren havde generelt større dækningsgrad i 1. (o. 50%) end i 2.brugsår (o. 30%). Kløverens dækningsgrad varierede imidlertid stærkt fra år til år og kunne ændres betydeligt i løbet af vækstsæsonen. F.eks. bedømtes kløverens dækningsgrad i 1.års kløvergræs d. 30. juni 1983 til 52% , og samme år d. 8. september til 34%. I samme tidsrum ændredes dækningsgraden af kløver i 2.års kløvergræs fra 33% til 24%.

De altafgørende faktorer for udbyttets størrelse i andet brugsår var år og forsøgsled, se fig.3.

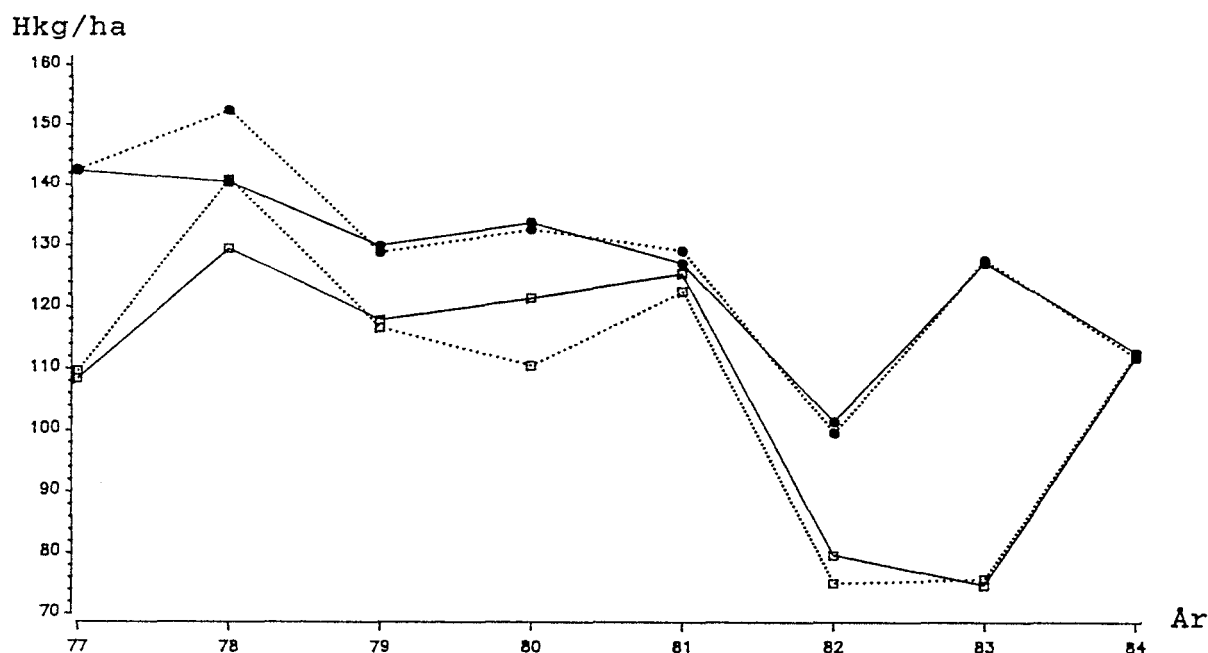


Fig.3. Udbytte af plantetørstof i 2.års græs. Græs vandet • , græs uvandet □ , korn vandet , korn uvandet — .

Der var rimelig overensstemmelse imellem udbyttelniveauerne i 1. og 2.års græs i de forskellige år på nær i 1978, hvor der i 2.års græs høstede det største gennemsnitsudbytte, som var 141 hkg tørstof pr.ha, mens udbyttet i 1.års græs var det tredje-laveste. Det skyldes især det lave udbytte i 1.års kløvergræs i 1978, hvor kløveren var angrebet af bladpletsvamp.

Det laveste gennemsnitsudbytte i 2.års græs målt i 1982, og var på 89 hkg tørstof.

Vanding gav et gennemsnitligt merudbytte på 19 hkg tørstof pr.ha om året, eller ca. 18% forøgelse af udbyttet i uvandet. Vandingseffekten i 2.brugsår var altså ikke så stor som i 1.brugsår. Vandingseffekten var en smule mindre i kløvergræs end i græs, til trods for at kløveren også i 2.års græs øjensynlig

blev favoriseret ved vanding, idet der ligesom i 1.år var størst dækningsgrad af kløver i de vandede parceller.

De fleste år var eftervirkningen fra vanding i byg negativ, men i 1978 var der en temmelig stor positiv eftervirkning på 11,7 hkg tørstof, således at eftervirkningen i gennemsnit af alle 8 år var nær nul (0,3 hkg). I gennemsnit af alle årene var eftervirkningen et merudbytte på 1,2 hkg tørstof pr.ha i kløvergræs, og en udbytte- nedgang på 0,7 hkg i rent græs.

I gennemsnit af begge udlægstyper og begge brugsår var tørstofproduktionen fordelt på slæt med 36% ved 1.slæt, 23% ved 2.slæt, 22% ved 3.slæt, 16% ved 4.slæt og 3% ved 5.slæt.

Vandingseffekten ved de forskellige slæt fremgår af nedenstående tabel, hvor det gennemsnitlige merudbytte for vanding er angivet i procent af udbyttet i uvandet:

Slæt	1.brugsår					2.brugsår				
	1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.	5.
Græs	6	37	34	31	31	8	28	25	17	6
Kløvergræs	7	54	81	46	18	13	8	30	22	5

Det ses, at den relative vandingseffekt er størst i 1.brugsår, og at vandingseffekten i rent græs er størst ved 2.slæt, mens den i kløvergræs er størst ved 3.slæt.

EFTERVIRKNING

Efter græs fulgte i første rotation byg og i anden rotation hvede, hvor en eventuel eftervirkning af vanding i græs måtte forventes at vise sig. Efter hvede fulgte i anden rotation en bygafgrøde uden forsøgsbehandlinger.

Hkg/ha

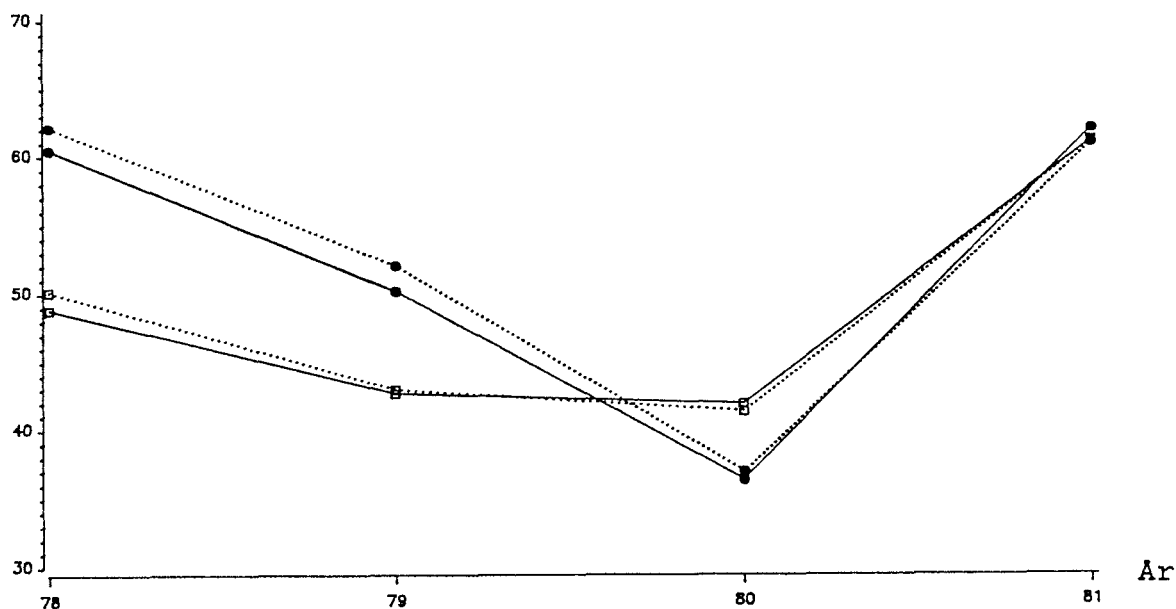


Fig.4. Kerneudbytte i byg efter græs. Byg vandet • , byg uvandet □ , græs vandet , græs uvandet — .

Der var imidlertid ingen signifikante eftervirkninger på kerneudbyttet i byg og endnu mindre i hvede.

I byg efter første rotation målt et gennemsnitligt merudbytte efter vanding af græs på 0,5 hkg kerne pr.ha og i hvede efter anden rotation kun 0,1 hkg kerne pr.ha. I byg efter hvede målt et gennemsnitligt merudbytte på 1,0 hkg kerne pr.ha i parceller, hvor græs havde været vandet, mens den gennemsnitlige eftervirkning af vanding i hvede var nær 0.

For alle eftervirkningsafgrøder var årseffekten den mest afgørende for udbyttets størrelse, se fig. 4, 5 og 6.

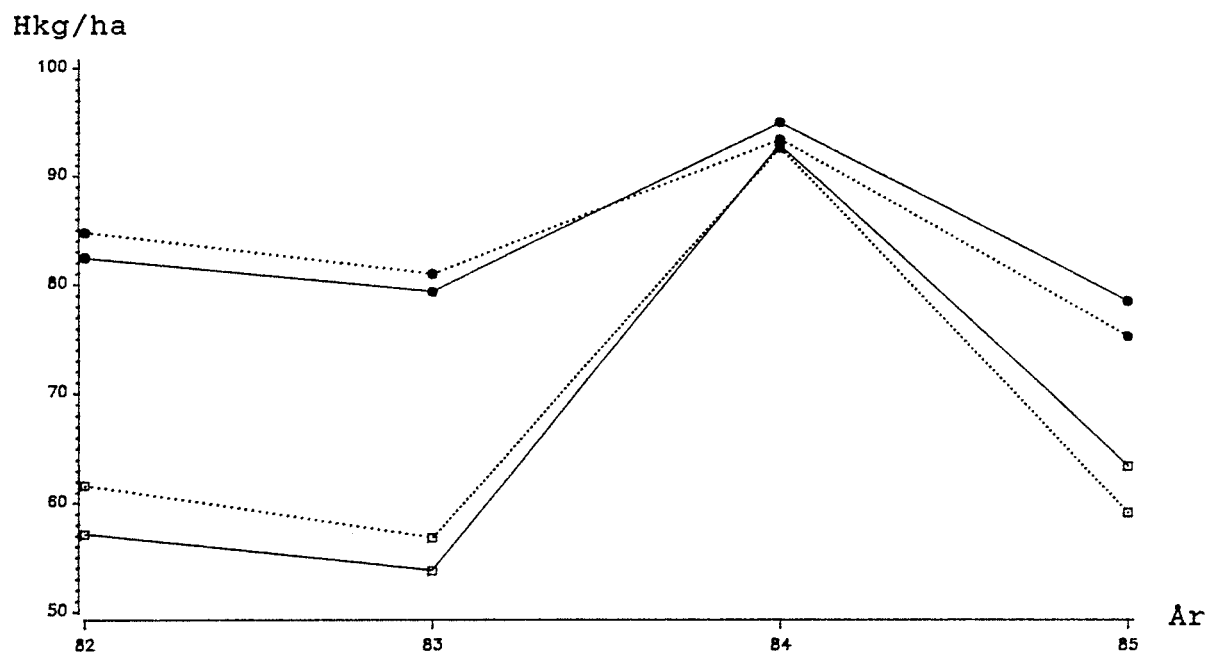


Fig.5. Kerneudbytte i hvede efter græs. Hvede vandet ● , hvede uvandet □ , græs vandet , græs uvandet — .

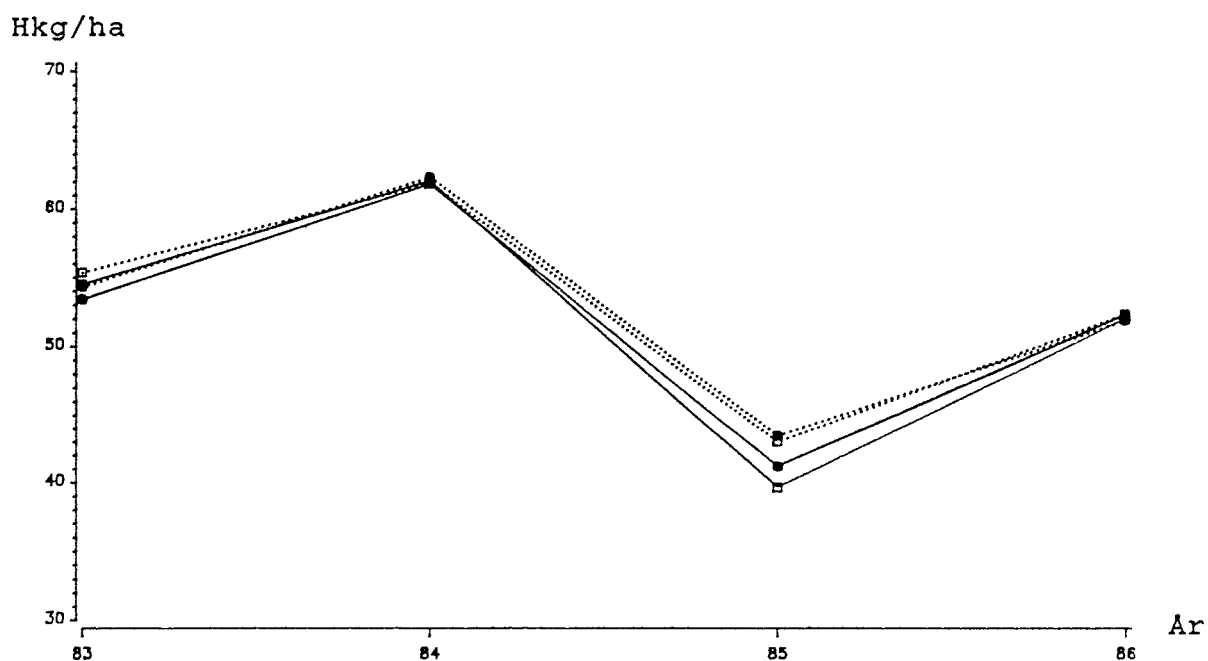


Fig.6. Kerneudbytte i byg efter hvede. Hvede vandet ● , hvede uvandet □ , græs vandet , græs uvandet — .

I hvede efter græs sås signifikant effekt af vanding i form af et gennemsnitligt merudbytte på 16,7 hkg kerne pr.ha (25%). I byg efter græs var effekten af vanding usikker. Det skyldtes især en negativ effekt af vanding i 1980, hvor byggen i de vandede parceller gik stærkt i leje. Det gennemsnitlige merudbytte for vanding blev derfor kun 3,9 hkg kerne pr.ha (8%).

JORDKEMI

De fire forsøgsmarker var af typisk grovsandet jordtype (JB1). Kornstørrelsesfordelingen var i gennemsnit 60,4% grovsand, 29,9% finsand, 4,1% silt, 2,4% ler og 3,2% humus.

Mark IV adskilte sig noget ved et forholdsvis stort indhold af ler samt grovsand, og ved et forholdsvis lille indhold af finsand.

Efter høst af eftervirkningsafgrøderne udtoges i begge rotationer jordprøver til analyse for enkelte jordkemiske parametre. I nedenstående tabel ses gennemsnitstallene for de fire forsøgsled:

Led	1	2	3	4	LSD, 95%
Vanding	-	Græs	Græs+Korn	Korn	
Kt (1mgK/100g)	7,55	6,38	5,96	7,02	0,33
Ft (3mgP/100g)	8,69	8,52	8,26	8,50	0,24
Cut(1mgCu/1kg)	5,43	5,45	5,55	5,34	0,18
Rt (pHCaCl+0,5)	6,34	6,35	6,38	6,37	0,06 n.s.
Mgt(1mgMg/100g)	3,65	3,58	3,47	3,49	0,17
Humus (1g/100g)	3,33	3,33	3,24	3,25	0,22 n.s.

De største forskelle sås i jordens kaliumindhold, hvor det uvandede led havde det største kaliumtal, og det fuldt vandede led havde det mindste. Vanding af korn alene gav en reduktion i kaliumtallet på 0,53 enhed, mens vanding af græs alene gav 1,17 enhed lavere kaliumtal end i uvandet. Det kan skyldes, at vandede afgrøder optager mere kalium end uvandede, og at græs optager mere kalium end korn.

Også for fosfors vedkommende sås lidt lavere indhold i jorden i det fuldt vandede led end i det uvandede. For kobber derimod sås det omvendte forhold, hvilket kan skyldes forurening af vandingsvandet med kobber fra vandledninger.

KONKLUSION

=====

Igennem to rotationer af et fireårigt sædskifte måltes på en grovsandet jord den største vandingseffekt i kløvergræs, hvor vanding i det første brugsår forøgede udbyttet med gennemsnitlig 36%. I rent græs var den tilsvarende vandingseffekt 23%. Udbyttet af plantetørstof var til gengæld ca. en tredjedel større i rent

græs end i kløvergræs.

I det andet brugsår var både udbytter og vandingseffekt ens for græs og kløvergræs, og her gav vanding et gennemsnitligt merudbytte på 18%.

For både første og anden brugsår gjaldt det, at vanding i rent græs havde størst effekt ved 2.slæt, og i kløvergræs ved 3.slæt. De fleste år målttes i græs en lille negativ eftervirkning af vanding til byg i udlægsåret, mens der efter et ekstremt tørt udlægsår måtte genses efter uvandet byg.

Vanding i byg med udlæg gav i gennemsnit af årene 1975-82 et merudbytte på 26%, mens vanding i byg efter græs i første rotation (1978-81), på grund af problemer med lejesød, kun gav et merudbytte på 8%.

Vanding i hvede efter græs i anden rotation (1982-85) gav et merudbytte på 25%.

Der var ingen signifikante eftervirkninger af vanding i græs på kerneudbyttet hos byg og hvede. Der målttes dog små merudbytter i både byg og hvede i parceller, hvor græs havde været vandet.

Jordens reaktionstal, magnesiumtal samt humusindhold ændredes ikke væsentligt af vandingen. Kaliumtallet derimod var signifikant lavere i alle vandede led. Også fosfortallet var signifikant lavere i det fuldt vandede led end i uvandet.

**LOVMÆSSIGHEDER FOR PLANTEBEVOKSNINGERS OPTAGELSE
AF NÆRINGSSTOFFER FRA JORD OG GENNEM DERES BLADE**

af

**Niels Erik Nielsen
Institut for Kulturteknik og Planteernæring
Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole
København**

Indlæg ved seminarium nr. 151
Vattningsbehov och Näringstillförsel
1-3 august 1989, Landskrona, Sverige

Indledning

I nærværende fremstilling anvendes begrebet "lovmæssigheder" egentlig synonymt med begrebet "transportkinetik". Transportkinetik for planter næringsstoffoptagelse indbefatter en beskrivelse af, hvordan hastigheden af planter ionoptagelse varierer med varierende (f.eks. stigende) intensitet (potentiale) af den pågældende ion i jordvæsken. Transportkinetikken behandler således ikke årsagerne til en given bevægelseshastighed af ionen i jord- plantesystemet. Dette henhører under dynamikken og forudsætter et eksakt kendskab til mekanisme samt til størrelse og natur af de fysisk-kemiske kræfter, som påvirker bevægelsen. Da jord-plante systemet er meget komplekst er vor eksakte viden om den involverede dynamik i jord-plante systemet beskeden. Af den grund må vi i de kommende år være indstillet på at beskrive næringsstoffoptagelse hos plantebevoksninger ud fra et transportkinetisk synspunkt.

Iøvrigt er en klarlæggelse af dynamikken utænklig, førend der foreligger en klarlæggelse af transportkinetikken.

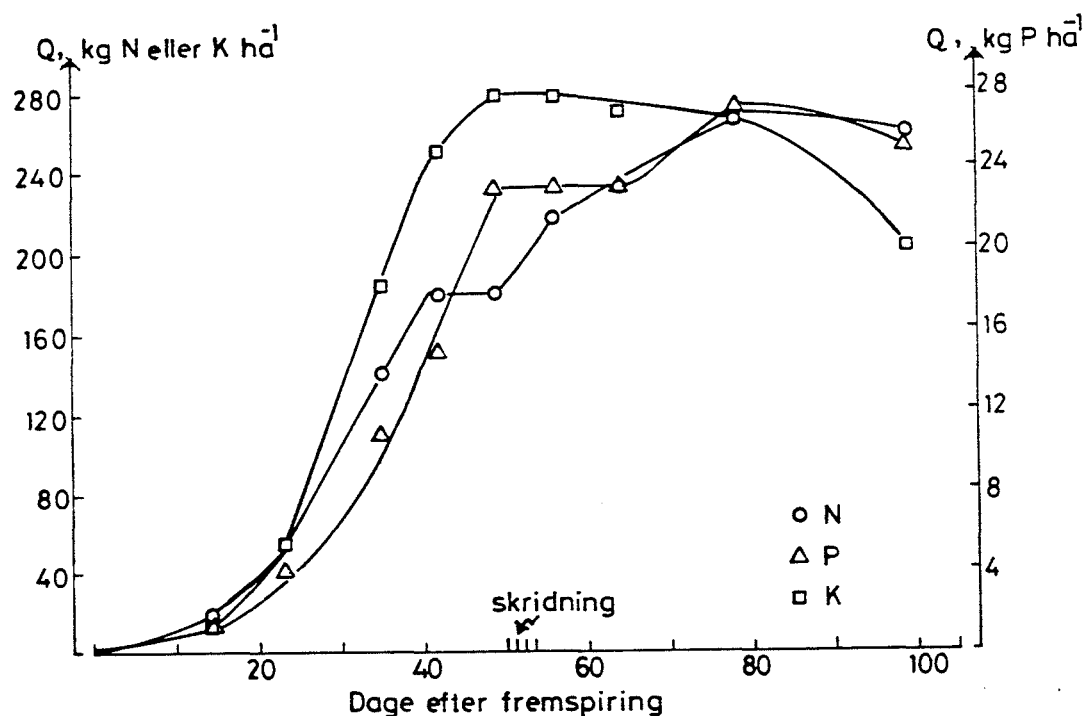
I efterfølgende omrids af transportkinetik for plantebevoksningers næringsstoffoptagelse, baseret på Nielsen (1986), lægges der endvidere vægt på lokalisering af hastighedsbegrænsende og hastighedsbestemmende led.

Om næringsstoffoptagelse og vækst

Uanset lokalisering af hastighedsbestemmende og/eller hastighedsbegrænsende led kan nettooptagelsen $Q(t)$ af et næringsstof til tidspunktet t udtrykkes ved

$$Q(t) = Y(t) X(t) \quad (1)$$

hvor $Y(t)$ er biomassen i ton ha^{-1} og $X(t)$ er koncentrationen af næringsstoffet i biomassen, kg ton^{-1} til tidspunktet t , således som det kan udledes af figur 1 for N, P og K hos vårbyg.



Figur 1. Optagelsen (Q) af N, P og K af byg med potentiel planteproduktion, Nielsen (1983)

Hastigheden af nettooptagelse kan herefter udtrykkes ved

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{d[Y(t)X(t)]}{dt} = \bar{I}_N(t)L(t) \quad (2)$$

Som kan omskrives til

$$\frac{dY(t)}{dt} \cdot \frac{1}{Y(t)} = R_Y(t) = \frac{1}{X(t)} \left[\bar{I}_N(t)L^*(t) - \frac{dX(t)}{dt} \right] \quad (3)$$

hvor

$\frac{dY(t)}{dt}$ er væksthastigheden af biomasse $\text{ton ha}^{-1} \text{ d\o{g}n}^{-1}$

$\frac{dY(t)}{dt} \frac{1}{Y(t)} = R_Y(t)$ er den relative væksthastighed, $\text{d\o{g}n}^{-1}$

$1/X(t)$ ton biomasse pr kg næringsstof i biomassen

$\overline{In}(t)$ angiver gennemsnitshastigheden af nettooptagelse pr længdeenhed af roden, f.eks. $\text{kg cm}^{-1} \text{ d\o{g}n}^{-1}$

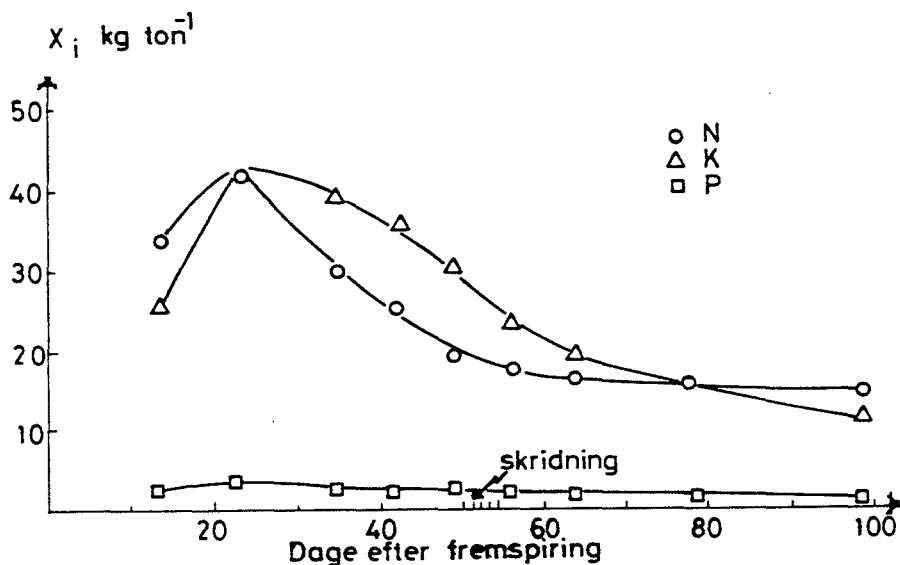
$L(t)$ er rodlængden, f.eks. cm ha^{-1}

$L^*(t)$ er rodlængden pr ton biomasse, cm ton^{-1}

Ligning 3 viser således for et vilkårligt næringsstof, hvordan den relative væksthastighed og ændringer i koncentrationen af næringsstoffet i biomassen er forbundet med gennemsnitlig hastighed af nettooptagelse pr længdeenhed af roden og rodlængden pr ton biomasse.

I ligning 3 er $1/X(t)$ et udtryk for den effektivitet, hvormed afgrøden udnytter det optagne næringsstof til stofproduktion, medens $dX(t)/dt$ udtrykker virkningen af "fortyndingseffekten".

Fortyndingseffekten er en betegnelse for den iagttagelse, at koncentrationen (X) af næringsstoffer i biomassen af planter falder med planternes udvikling, f.eks. således som det er eksemplificeret i figur 2.



Figur 2. Koncentrationen (x) af N, P og K i tørstoffet af byg med potentiel planteproduktion, Nielsen (1983)

Fortyndingseffekten skyldes formentlig det forhold, at biomassens indhold af skelettur (cellevægge m.m.) stiger med plantens udvikling.

Koncentrationerne af plantenæringsstofferne i cytoplasmaet kan derfor være ret konstante, selv om fortyndingseffekten er stor.

Af ligning 3 kan det endvidere udledes, at den relative væksthastighed vil være kontrolleret af størrelserne af $\bar{I}_n(t)$, $L^*(t)$, $1/X(t)$ og $dX(t)/dt$ under forhold, hvor væksten begrænses af optagelsen af det pågældende næringsstof fra jordvæsken. I princippet kan plantebestandens relative væksthastighed derfor øges ved en forøgelse af størrelserne af $\bar{I}_n(t)$, $L^*(t)$, $1/X(t)$ og/eller den negative værdi af $dX(t)/dt$.

Omvendt vil størrelserne af $\bar{I}_n(t)$, $L^*(t)$ og $dX(t)/dt$ for et givet næringsstof være kontrolleret af afgrødens væksthastighed under forhold, hvor væksten begrænses af lave intensiteter af en eller flere af de øvrige vækstfaktorer i omgivelserne.

Potentiel strømningshastighed (F_p) af et næringsstof til rodoverfladen

Ved F_p og dermed potentiel transport ($\sum_1^t F_p$) af et næringsstof til roden gennem en tidsperiode fra 1 til t pr cm^2 rodoverflade forstås den strømning, der ville forekomme, såfremt koncentrationen (c) af det betragtede næringsstof var nul ved rodoverfladen. En redegørelse for de jordbundsforhold, som bestemmer størrelsen af F_p og dermed størrelsen af den plantetilgængelige pulje i jord, nødvendiggør imidlertid et omrids af den sekvens af processer, som et plantenæringsstof gennemløber, når det translokteres fra en jordpartikel til f.eks. et vækstpunkt i planten.

Planters optagelse af et næringsstof fra jord kan omfatte en sekvens på 9 led (processer), således som det er illustreret i figur 3. I figur 3 angiver

led 1 omdannelse fra en ikke-mobil til en mobil form

led 2 frigørelse fra jordens faste bestanddele til jordvæsk

led 3 dannelse af ionpar og/eller komplekse forbindelse mellem ioner eller opløste organiske stoffer i jordvæsk

led 4 og 5 transport til rodoverfladen ved diffusion og konvektion (mass-flow)

led 6 dissociation af ionpar og komplekser ved ydersiden af cellemembranen omkring en rodbarkcelle

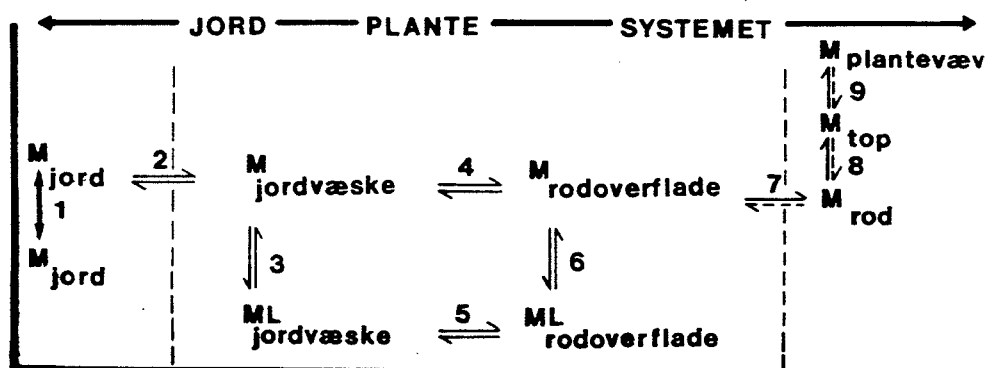
led 7 optagelse gennem rodbarkcellens cellemembran, plasmalemma

led 8 translokation fra roden til f.eks. vækstpunkter i toppen

led 9 indlejring i f.eks. nyt plantevæv

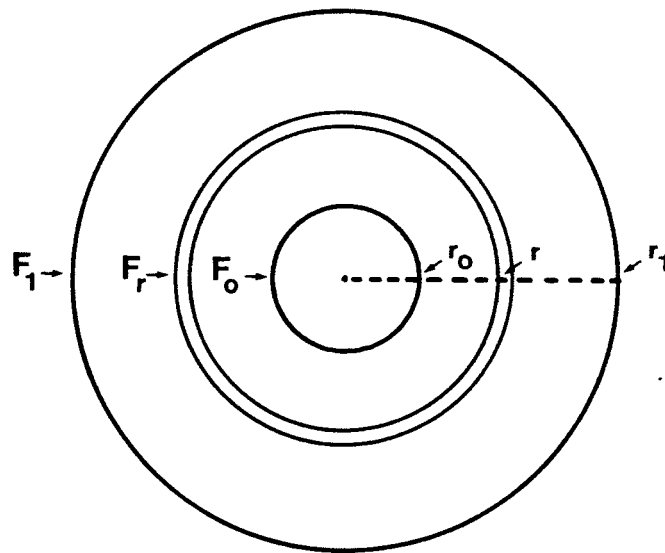
I figur 3 symboliserer \rightleftharpoons processer, der er reversible og spontant søger mod ligevægt, medens \Rightarrow symboliserer processer, som er mere eller mindre irreversible på grund af en eller flere biologiske barrierer, eller fordi processen hurtigt forløber videre mod højre. I en kæde af processer er de irreversible processer altid hastighedsbegrænsende og/eller hastighedsbestemmende, hvorimod de reversible processer kun kan være hastighedsbegrænsende.

I jord-plante systemet, figur 3, udtrykker størrelsen af den partielle molære fri energi af hvert enkelt næringsstof i jordvæsken intensiteten, hvormed jord tilbyder planter de pågældende næringsstoffer. På grund af bl.a. planterøddernes optagelse af næringsstoffer og vand og på grund af modstand mod stoftransport varierer intensiteten af de enkelte næringsstoffer i jordvæsken i reglen fra locus til locus i løbet af vækstperioden og med afstanden fra rodoverfladen.



Figur 3. Oversigt over sekvensen af transportprocessen i jord-plante systemet, Nielsen (1986)

Da planterødder med tilnærmelse kan betragtes som cylindre, gennemføres kvantitative beskrivelser af næringsstoftransport til en rod i reglen med udgangspunkt i følgende massebalance for et locus i afstanden r fra rodoverfladen af en rod, placeret i centrum af et cylindrisk koordinatsystem, figur 4.



Figur 4. Tværsnit af en jord-cylinder i et cylindrisk koordinatsystem med centrum i rodens centrum

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_r = - \left[\frac{1}{r} \frac{\partial r F_r}{\partial r} \right]_t + f(C)_{r,t} \quad (4)$$

$$\text{hvor } F_r = - D \frac{dC}{dr} + vc \quad (5)$$

Indføres $b = \frac{\partial C}{\partial c}$ og ligning 5 i ligning 4, fås

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)_r = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r D \frac{dc}{dr} - \frac{rvc}{b} \right) \right]_t + \frac{f(C)_{r,t}}{b} \quad (6)$$

I forbindelse med simulering af strømning gennem en tidsperiode ved hjælp af ligning 5 og 6 er det naturligt at vælge følgende grænsebetingelser:

Når $r = r_1$, så er $F_r = 0$;

når $r = r_0$, så er $F_r = F_0$ og

når $t = 0$, så der $c = c_i$.

Yderligere detaljer findes hos Nye and Tinker (1977), Barber (1984), Nielsen (1986).

I ligning 4-6 angiver

- b jordens bufferkapacitet = dC/dc for det pågældende næringsstof
- C totalkoncentrationen i jorden af mobil næringsstof, kg cm^{-3} , C = mobilt næringsstof, som er adsorberet til jordpartiklerne samt θc
- c koncentrationen af det pågældende næringsstof i jordvæsken, kg cm^{-3}
- c_i homogen begyndelseskoncentration i den jordvæske, som findes i den betragtede jordcylinder omkring roden, kg cm^{-3}
- $f(C)_{r,t}$ hastigheden af mobilisering eller immobilisering af det pågældende næringsstof i det betragtede locus/rod-cylinder til tidspunkt t , $\text{kg cm}^{-3} \text{ døgn}^{-1}$
- $D = D_{H_2O}$ f θ/b effektiv diffusionskoefficient for det pågældende næringsstof, $\text{cm}^2 \text{ døgn}^{-1}$

D_{H_2O} diffusionskoefficient for det pågældende næringsstof i vand, $cm^2 \text{ døgn}^{-1}$

θ jordens relative indhold af vand, $cm^3 H_2O$ pr cm^3 jord

f impedansfaktor mod diffusiv strømning i jordcylindere

F_r strømning af det pågældende stof gennem det betragtede locus, $kg \text{ cm}^{-2} \text{ døgn}^{-1}$

F_o strømning af det pågældende stof gennem rodooverfladen, $kg \text{ cm}^{-2} \text{ døgn}^{-1}$

r radial afstand fra rodens centrum, cm

r_o rodens radius, cm

r_1 den radiale afstand mellem 2 rødder, hvor $F_r = 0$

v hastigheden af vandstrømning gennem det pågældende locus, $cm \text{ døgn}^{-1}$

Ligning 5 og 6 indbefatter de jordbunds faktorer, som sætter grænserne for størrelsen af den potentielle strømningshastighed og dermed den potentielle mulighed for transport af et næringsstof til rodooverfladen gennem et givet tidsinterval. Den potentielle strømning af et næringsstof kan simuleres ved hjælp af ligning 5 og 6, når det antages, at $c = 0$ ved rodooverfladen.

For et givet næringsstof sætter følgende faktorer således grænserne for den potentielle strømningshastighed af et næringsstof til roden; jævnfør ligning 5 og 6:

- 1) Jordens tekstur, struktur, poregeometri og den relative størrelse af volumenet af partikler, væske og luft, fordi disse faktorer bl.a. påvirker størrelsen af D
- 2) Hastigheden af mobilisering/immobilisering, fordi det påvirker størrelsen af $f(C)_{r,t}$, se tillige proces 1 i figur 1.
- 3) Størrelsen (C) af den mobile pulje af næringsstoffet i jorden, fordi den bl.a. øger størrelsen af koncentrationen (c) af næringsstoffet i jordvæsken
- 4) Koncentrationen (c) af næringsstoffet i jordvæsken, fordi den påvirker den potentielle størrelse af diffusionsgradienten (dc/dr)
- 5) Størrelsen af bufferkapaciteten = $b = dC/dc$
- 6) Størrelsen af D
- 7) Størrelsen af v

Jordens indhold af plantetilgængeligt næringsstof er således bestemt af størrelserne af C , c , b , v og $D = D_{H_2O} \theta f / b$ i det samspil, som er udtrykt ved ligning 5 og 6.

Aktuel strømning (F_a) af et næringsstof ind i en plantebevoksning

Ved F_a og dermed den aktuelle optagelse ($\sum F_a$) forstås den netto strømning, som aktuelt forekommer ind i plantebestanden pr cm^2 rodooverflade. Den aktuelle strømning er altid mindre end den potentielle strømning, fordi planter ikke er i stand til at opretholde $c = 0$ af det betragtede næringsstof ved rodooverfladen. Nielsen (1986), Jungk og Claassen (1986).

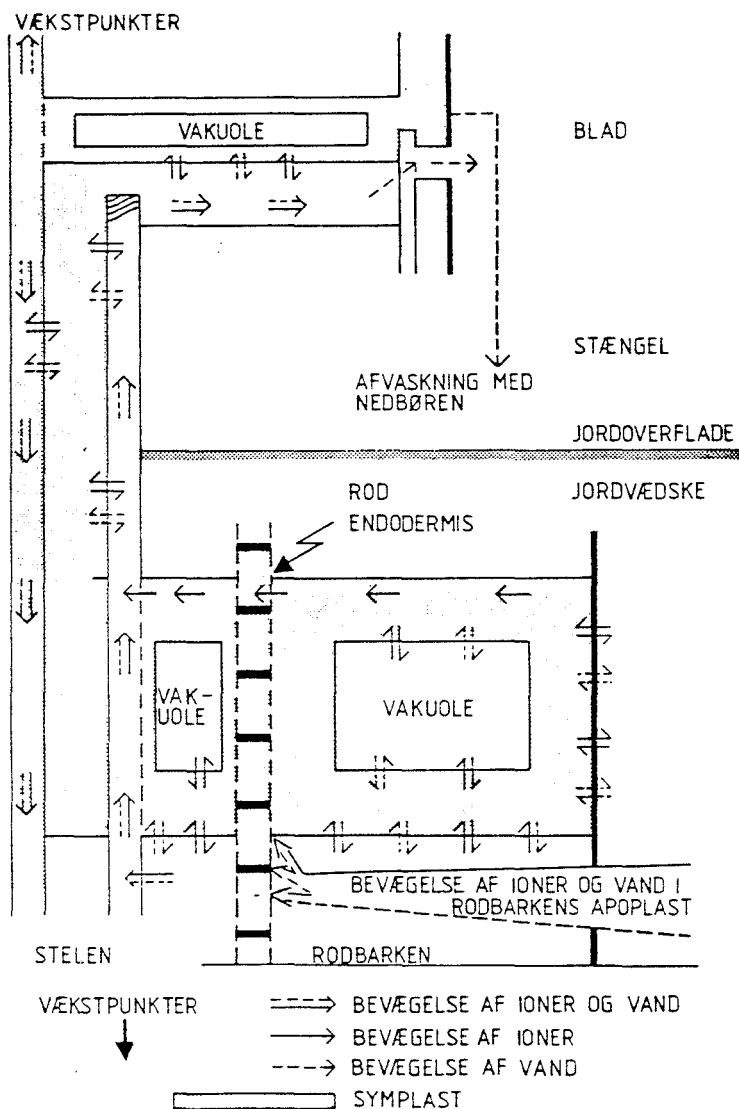
I figur 3 er proces nr. 7, 8 eller 9 hastighedsbestemmende, fordi de er irreversible af natur. Bag figur 3 ligger endvidere den opfattelse,

at nettotransport gennem led 7 forløber, fordi energi fra biologiske processer i planten muliggør transport mod en potentialegradient eller dannelse af en potentialegradient for næringsstoffet ind i rodbarkcellerne

at nettotransport gennem led 8 forløber, fordi der forekommer transport af vand i planterne

at nettotransport gennem 9 forløber, fordi planterne producerer nyt væv og vokser

Med relation hertil gengiver figur 5 et makroskopisk billede af planternes næringsstofoptagelse. I henhold til figuren foregår den radiale transport gennem rodbarken dels via apoplasten, dvs. gennem de vandfyldte porer i cellevæggene (8-12 % af rodvolumener), og dels gennem symplasten, dvs. den intracellulære transportvej, som er mulig fra celleprotoplast til celleprotoplast via plasmadesmata, når ioner og vand har passeret rodbarkcellernes ydre cellemembran plasmalemma. Cellerne i rodbarken kan således optage ioner og vand fra den opløsning, der ved konvektion og diffusion strømmer ind i rodbarken.



Figur 5. Oversigt over planterens ion- og vandoptagelse i relation til deres strukturelle opbygning, Nielsen (1986)

I de radiale antikline cellevægge af endodermis er der imidlertid på et tidligt tidspunkt i rodens udvikling indlejret suberin, som er nært knyttet til endodermiscellernes plasmalemma. Den radiale transport af ioner og vand i rodbarkens apoplast afbrydes derfor ved endodermis, figur 5. Om ikke før må næsten alle ioner (98-100%) derfor passere en plasmalemma

for at nå til vedkarrene. Af den grund er næringsstoffoptagelsen underlagt biologisk kontrol i roden.

I vedkarrene føres ioner, som ved lækage/sekretion er afgivet til opløsningen i vedkarrene, hurtigt med transpirationsstrømmen til toppen. Derfor får de organer (blade), der har den største transpiration, den største forsyning af næringsstoffer fra roden.

Fra transpirationsstrømmen i bladenes apoplast optager bladcellerne deres næringssalte. Næringsstoffet kan herefter via sikarrene retranslokeres til vækstpunkterne, der ofte har et behov for næringsstofforsyning, som er betydeligt større end den forsyning, som ankommer med transpirationsstrømmen.

Størrelsesordenen af hastigheden af passiv transport i vedkarrene (xylemet) er 1-10 m/time, i sikarrene (phloemet) 0.1-1 m/time, i symplasten 0.03 m/time og gennem cellemembraner 10^{-5} m/time⁻¹ atm⁻¹ for vand og 10^{-8} - 10^{-9} m/time for ioner. Det fremgår heraf, at en intakt membran er næsten ugennemtrængelig for ioner ved passiv gennemtrængning. I membraner må der derfor findes nogle strukturer, som øger transporthastigheden.

Da næringsstofferne har forskellige kemiske egenskaber, varierer deres absorption til aktive grupper i vedkar og cellevægge. Således er absorption af calcium i cellevæggene relativt større end af kalium. Desuden er der forskelle mellem næringsstofferne mobilitet i planter - dvs. deres mobilitet i phloemet (sikarrene), således som det fremgår af følgende sammenfatning af Bukovac og Wittwer (1957).

Mobile	Intermediære i mobilitet	Næsten immobile
--------	-----------------------------	--------------------

Kvælstof		
Kalium	Mangan	Calcium
Rubidium	Jern	Bor
Natrium	Zink	Lithium
Magnesium	Kobber	Strontium
Phosphor	Molybdæn	Barium
Svovl		
Chlorid		

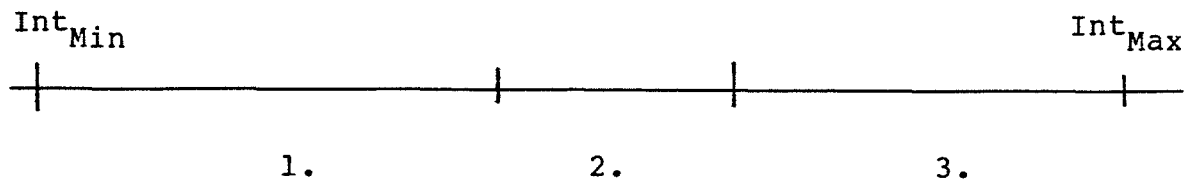
Ud fra et planteernæringsmæssigt synspunkt er konsekvensen af disse forskelle i mobilitet, at rødderne gennem alle plantens udviklingsfaser må optage de næringsstoffer, som er immobile og intermediære i mobilitet, mens næringsstoffer, som er mobile, let kan translokeres til vækstpunkterne og frugter fra de ældre dele af planten.

I figur 5 er endvidere markeret, at nedbør og vanding i en vis udstrækning kan afvaske næringssalte fra bladene, Tuekey (1970).

Desuden er der resultater, som antyder, at betydelige mængder af N kan fordampe fra plantebestanden gennem vækstperioden, Schjørring et al (1989), Wetselaar and Farquhar (1980)

I et givet jord-plantesystem findes for hvert enkelt nødvendigt plantenæringsstof en minimums- og maksimumsintensitet (aktivitet, koncentration), mellem hvilke plantevækst er mulig. Ved en given kombination af de øvrige vækstfaktorer kan intensitetsintervallet mellem ovennævnte minimums- og maksi-

mumsintensitet opdeles i mindst tre koncentrationsintervaller (1-3), Nielsen (1986).



Gennem det 1. koncentrationsinterval, hvor koncentrationen af det betragtede næringsstof er lille ved rodooverfladen, er det transporten gennem rodbarkcellernes ydre cellemembran (plasmalemma), som udgør det hastighedsbestemmende led (led 7, figur 3).

Gennem det 2. koncentrationsinterval er det translokationen af næringsstoffet fra den indvendige side af rodbarkcellernes plasmalemma til bl.a. vækstpunkterne, som udgør hastighedsbestemmende led (led 8, figur 3).

Gennem det 3. koncentrationsinterval er det indbygning/indlejring af næringsstoffet i plantevæv, som udgør det hastighedsbestemmende led (led 9, figur 3).

Det fremhæves, at stigende koncentration af det betragtede næringsstof ved rodooverfladen medfører successive overgange fra den situation, hvor transport gennem rodbarkcellernes plasmalemma udgør det altoverskyggende hastighedsbestemmende led til den situation, hvor translokation af næringsstoffet fra den indvendige side af rodbarkcellernes plasmalemma til bl.a. vækstpunkterne udgør det hastighedsbestemmende led til den situation, hvor det er indlejring/indbygning af næringsstoffet i nyt væv, som udgør det dominerende hastighedsbestemmende led.

I det følgende præsenteres de grundlæggende lovmæssigheder for planters næringsstofoptagelse, når det hastighedsbestemmende led er

- a) transporten gennem rodbarkcellernes ydre cellemembran (1. koncentrationsinterval)
- b) indlejringen/indbygningen i nyt væv (3. koncentrationsinterval)

medens formulering af en transportkinetik for 2. koncentrationsinterval forbigås, fordi den foreliggende viden endnu er mangelfuld.

Gennem det 1. interval af intensiteter, hvor det er transporten gennem rodbarkcellernes ydre cellemembran (plasmalemma), som udgør det hastighedsbestemmende led, kan relationen mellem stigende koncentration (c_o) af næringsstoffet ved rodo-verfladen og gennemsnitshastigheden (\bar{I}_n) af næringsstoffets nettooptagelse pr. længdeenhed af roden udtrykkes ved, Nielsen (1986):

$$\bar{F}_a = \bar{F}_o = \frac{\bar{I}_n}{2\pi r_o} = \frac{\bar{I}_{\max} (c_o - c_{\min})}{2\pi r_o (c_o - c_{\min} + K_m)} \quad (7)$$

$$\bar{I}_n L^* = \bar{I}_{\max} L^* \frac{c_o - c_{\min}}{c_o - c_{\min} + K_m} \quad (8)$$

hvor

\bar{I}_n er gennemsnitshastigheden af nettooptagelse pr. længdeenhed af roden, $\text{kg cm}^{-1} \text{ d\aa} \text{gn}^{-1}$

\bar{I}_{\max} er maksimal gennemsnitshastighed af nettooptagelse pr. længdeenhed af roden, $\text{kg cm}^{-1} \text{ d\aa} \text{gn}^{-1}$

c_o er koncentrationen af næringsstoffet i jordvæsken ved rodooverfladen, kg cm^{-3}

c_{\min} er koncentrationen af næringsstoffet i jordvæsken, ved hvilken $I_n = 0$, kg cm^{-3}

K_m er Michaelis-Menten faktoren for planterodens nettooptagelse af næringsstoffet, kg cm^{-3}

\overline{F}_o er gennemsnitshastigheden af næringsstoffets nettostrømning pr. arealenhed af roden, $\overline{F}_o = \overline{I}_n / 2\pi r_o$, $\text{kg cm}^{-2} \text{ døgn}^{-1}$

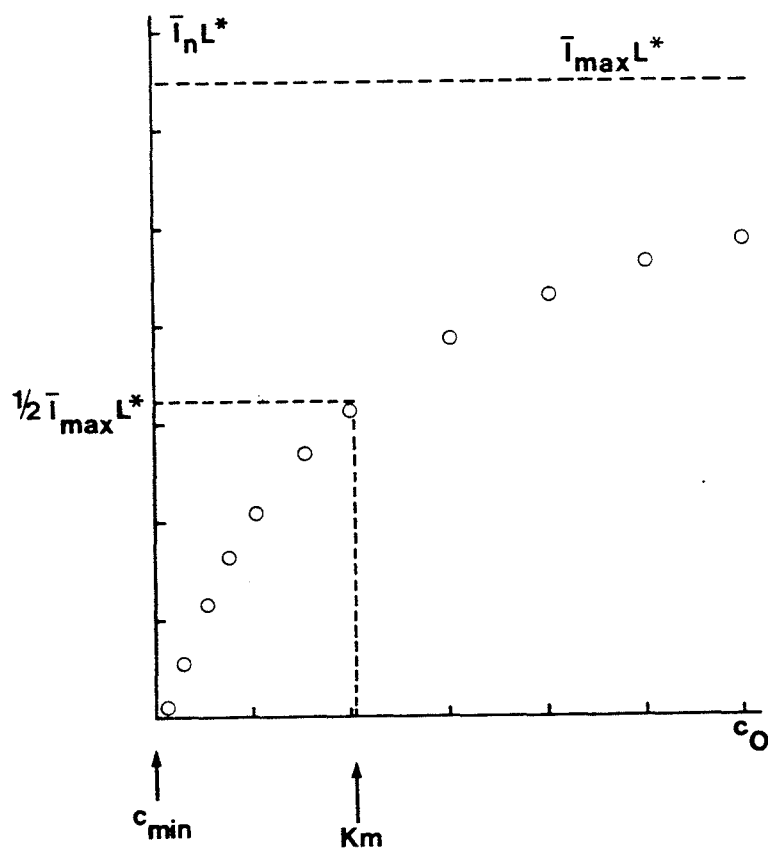
r_o rodens radius, cm

L^* rodlængde, cm pr ton biomasse

Ligning 8 er illustreret i figur 6, hvoraf det fremgår, at

$$\overline{I}_n L^* = 1/2 \overline{I}_{\max} L^*, \text{ når } c_o = c_{\min} + K_m$$

Iøvrigt udtrykker ligning 8 effektiviteten, hvormed planter udnytter jord som næringsstofkilde, idet stigende størrelser af L^* og \overline{I}_{\max} og faldende størrelser af K_m og c_{\min} øger optagelsen og dermed effektiviteten.



Figur 6. Relationen mellem den gennemsnitlige hastighed af nettooptagelse pr vægtenhed af planten ($\bar{I}_n L^*$) og koncentrationen (c_0) af det pågældende plantenæringsstof ved rodoeverfladen

Under markforhold er det hastighedsbegrænsende led for planter optagelse af phosphor og mikronæringsstoffer i reglen lokaliseret i roden, således at hastigheden af nettooptagelse af disse næringsstoffer kan udtrykkes ved ligning 8.

Kombineres ligningerne 5 og 8, opnås et udtryk, som for et kort tidsinterval, Δt , kan udtrykke strømmingen ved rodoeverfladen, såfremt det er rimeligt at antage, at

$$f(C)_{r,t} = 0$$

$$2\pi r_o L^* \left[-Db \frac{dc}{dr} + v_o c_o \right] = \bar{I}_{\max} L^* \frac{c_o - c_{\min}}{c_o - c_{\min} + K_m} \quad (9)$$

hvor størrelsen af c_o bl.a. påvirkes af koncentrationen c af næringsstoffet i jordvæsken, der befinder sig ude i rhizosfæren.

Af ligning 9 kan derfor udledes, at strømmingen af næringsstof fra jorden ind i planterne pr. vægtenhed af plantebiomasse på et givet tidspunkt afhænger af størrelsen af:

Jordfaktorerne D , b , c

Plantefaktorerne L^* , r_o , \bar{I}_{\max} , K_m og c_{\min}

samt hastigheden af planternes vandoptagelse, v_o , når det hastighedsbestemmende led er lokaliseret i roden.

Med udgangspunkt i ligningerne 6 og 9 samt de anførte randbetingelser kan der opstilles EDB-simuleringsmodeller, som kan anvendes til simulering af planternes næringsstoffoptagelse fra jord.

En sådan simulering indbefatter funktioner, der beskriver forløbet af rodsystemets vækst, dvs. hastigheden af rodens længdevækst i de forskellige jorddybder, rodradius samt antal, længde og radius af rodhår. Simuleringen kompliceres imidlertid af det forhold,

at størrelserne af de parametre, som indgår i ligning 9, varierer gennem vækstperioden

at $f(C)_{r,t}$ ikke er nul

at væksthastigheden af rod og rodhår varierer gennem vækstperioden

Det hastighedsbestemmende led for planter optagelse af NO_3^- , N, K, Ca, Mg og sulfat under markforhold er i reglen ikke lokaliseret i roden, fordi koncentrationerne af disse næringsstoffer i jordvæsken normalt er så høje, $10^{-4} - 10^{-2}$ M, at de tilhører det 3. koncentrationsinterval. Derfor er det hastighedsbestemmende led for optagelse af NO_3^- -N, K, Ca og Mg disse ioners indbygning/indlejring i nyt væv - altså plantebevoksningens væksthastighed (dY/dt).

I henhold til ligning 3 kan væksthastigheden udtrykkes ved

$$\frac{dY}{dt} = \frac{1}{x} \left[\bar{InL} - Y \frac{dX}{dt} \right] \quad (10)$$

hvor det er størrelsen af dY/dt , som kontrollerer størrelsen af de øvrige led i ligningen. Optagelseshastigheden på ethvert tidspunkt i vækstperioden kan herefter udtrykkes ved

$$\bar{InL} = 2\pi r_o L \left[-Db \frac{dc}{dr} + w_o c_o \right] = \frac{d(YX)}{dt} = \frac{dQ}{dt} \quad (11)$$

såfremt det er rimeligt at antage, at $f(C)_{r,t} = 0$

Det er iøvrigt karakteristisk for det 3. koncentrationsinterval, at rodlængden (L) kan afkortes, uden at det påvirker hastigheden af den pågældende ions optagelse.

I den del af det 3. koncentrationsinterval, som er af landøkonomisk interesse, er der en retliniet sammenhæng mellem koncentrationen af kvælstof (%N) og summen af kationkoncentrationer, $\sum_{kat} = c_K + 2c_{Ca} + 2c_{Mg} + c_{Na}$ i plantens biomasse, således at

$$\sum_{kat} = a_1 (\%N) + b_1 \quad (12)$$

hvor størrelserne af a_1 og b_1 er karakteristiske for den pågældende planteart. Af ligning 12 følger, at planter har en given kapacitet ($\sum k$) for kationoptagelse ved et givet indhold af N.

Ses der bort fra plantens indhold af Na, kan lovmæssighederne for opfyldning af denne optagelseskapa- citet med K, Ca og Mg udtrykkes ved

$$\frac{\overline{In}_K}{2(\overline{In}_{Ca} + \overline{In}_{Mg})} = k_{K/Ca+Mg} \frac{a_K}{\sqrt{a_{Ca} + a_{Mg}}} + b_2 \quad (13)$$

og

$$\frac{\overline{In}_{Mg}}{\overline{In}_{Ca}} = k_{Mg/Ca} \frac{a_{Mg}}{a_{Ca}} + b_3 \quad (14)$$

hvor $k_{K/(Ca + Mg)}$ er plantens selektivitetsfaktor mellem K og (Ca + Mg), medens $k_{Mg/Ca}$ er plantens selektivitetsfaktor mellem Mg og Ca. I ligningerne angiver \overline{In}_K , \overline{In}_{Ca} og \overline{In}_{Mg} den gennemsnitlige optagelseshastighed af henholdsvis K, Ca og Mg pr. længdeenhed af roden, mens a_K , a_{Ca} og a_{Mg} angiver de korresponderende aktiviteter af K, Ca og Mg i jordvæsken. For yderligere detaljer se Nielsen (1986).

Studerer forholdet mellem $\overline{In}_N : \overline{In}_P : \overline{In}_S$ ved høje koncentrationer af NO_3^- , $H_2PO_4^-$ og SO_4^{2-} i de opløsninger, som omgiver rødderne, er forholdet mellem optagelserne af N, P og S næsten upåvirket af ændringer af koncentrationerne af NO_3^- , $H_2PO_4^-$ og SO_4^{2-} . Dette skyldes vel det forhold, at N, P og S i modsætning til K, Ca og Mg indbygges i det organiske stof.

Det fremgår af ovenstående vedrørende planter optagelse af næringsstoffer i det 3. koncentrationsinterval,

at optagelseshastighederne af de pågældende næringsstoffer kontrolleres af plantebestandens væksthastighed

at der er en høj korrelation mellem planternes optagelse af N og Σk_{at} . Ved et givet indhold af N har planten således en given kapacitet for kationoptagelse

at opfyldningen af denne kapacitet kontrolleres af forholdet mellem aktiviteterne af kationerne i jordvæsken ved rodooverfladen

at forholdet mellem optagelserne af N, P og S ved høje koncentrationer af nitrat, phosphat og sulfat i opløsningen næsten er upåvirket af ændringer af koncentrationerne af NO_3^- , $H_2PO_4^-$ og SO_4^{2-} i den opløsning, som omgiver rødderne.

Ovenstående var grundlaget for udvikling af metode/principper for formulering af basis- og suppleringsopløsninger i forbindelse med dyrkning af planter i vandkultur efter regenereringsprincippet, Nielsen (1984). Principper, som har fået en udbredt anvendelse inden for danske væksthushavterier. For tiden arbejdes med udvikling af en metode/et princip til dyrkning af planter på en livslang kontrolleret diæt, Andersen og Nielsen. Denne metode muliggør f.eks. dyrkning af planter med et lille indhold af nitrat.

Biologiske faktorer, som modificerer planterens udnyttelse af jord som næringsstofkilde

Betydningen af rodlængde (L og L^*) og rodradius (r) for planterens optagelse af et næringsstof kan udledes af ligningerne 2, 3, 9 og 11. Ud over dette kan planteriet byde på mange andre strategier for at opnå næringsstoffer. I det følgende fremdrages nogle af de mere betydningsfulde.

De biologiske forhold nær rodooverfladen er i almindelighed meget forskellige fra de forhold, som findes i jorden som sådan. Op til 20% af den daglige fotosyntese kan ende som

energikilde for mikroorganismene i rhizosfæren, Barber and Martin (1976), Helal and Sauerbeck (1984), Martin (1977). Af den grund er den mikrobielle aktivitet nær rodoverfladen ofte 50-100 gange større end i jorden som sådan - altså forhold som uden tvivl kan ændre tilgængeligheden af plantenæringsstofferne. Endvidere kan roden gennem ændringer af pH og redox-potentialet ændre tilgængeligheden af næringsstoffer nær rodoverfladen, Nye (1986), Marschner et al. (1986). Netto H-ionakkumulering i rhizosfæren er i reglen højt korreleret med balancen mellem planters kat- og anionoptagelse, idet en optagelse af flere ækvivalenter af kationer end af anioner opvejes af en netto-udskillelse af H-ioner. Omvendt vil et overskud i anionoptagelsen blive opvejet af en netto H-ionoptagelse eller nedsat udskillelse af OH-ioner.

Vore iagttagelser tyder på, at der hos mange af vore kulturplanter er balance mellem kat- og anionoptagelsen, såfremt 10-20% af kvælstoffet optages som $\text{NH}_4\text{-N}$. Af den grund medfører den symbiotiske kvælstoffiksering hos bælplanterne i reglen en forsuring nær rodoverfladen, idet bælplanterne jo via den symbiotiske kvælstoffiksering opnår størsteparten af deres kvælstofforsyning fra luftens N_2 -indhold.

Udviklingen af rodhår er en af de strategier, som roden kan benytte for at få en større kontaktflade mellem roden og jorden. Rodhår varierer i længde mellem 0.1 til 1.5 mm og i diameter fra 0.005 til 0.025 mm, Dittmer (1949). Tætheden varierer vel fra 5.000 til 50.000 stk. pr. cm^2 rodoverflade. Både tæthed og længde af rodhår varierer fra planteart til planteart. Mellem genotyper af den samme planteart er der formentlig også forskelle. Udviklingen og levealderen af rodhår påvirkes af mange miljøfaktorer, f.eks.

jordens fysiske egenskaber

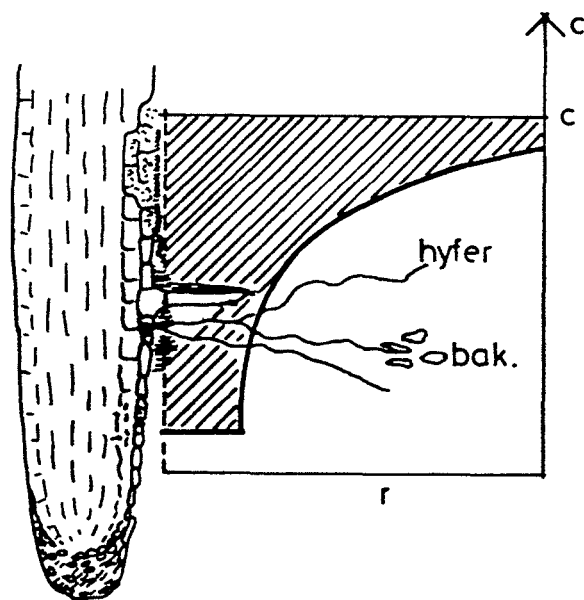
luftskifte, fugtighed og temperatur i jorden

jordens indhold af plantenæringsstoffer
sammensætning og størrelse af populationen af
mikroorganismer

Studier af rodhårs betydning for planters fosphoroptagelse, Itoh and Barber (1983), godtgør, at rodhår øger arealet af rodens kontaktflade med jorden og dermed planters optagelse af fosfor fra jord.

Nogle plantearter udnytter symbiosen som en strategi til opnåelse af næringsstoffer fra omgivelserne. I relation til planters ernæring med kvælstof er symbiosen mellem bælgplanter og kvælstofbindende bakterier af slægten *Rhizobium* og dermed den biologiske N_2 -fiksering af særlig interesse. Ligeledes kan bakterier af slægten *Actinomyces* leve i symbiose med forskellige træarter, hvor bakterierne binder N_2 . Desuden lever et stort antal af vore kulturplanter i symbiose med svampe og danner mykorrhiza (svamperod).

Under symbiosen forsynes mykorrhizasvampen med kulhydrater m.m. fra værtsplanten. Svampen udnytter denne energi til at danne lange tynde hyfer, som gennemvæver jorden og optager plantenæringsstoffer flere cm fra roden. En del af disse næringsstoffer kommer værtsplanten tilgode. I princippet er virkningsmekanismen i relation til næringsstofoptagelse den samme som for rodhår. Hyfen kan nå langt ud gennem udtømningszonen omkring roden og optage plantenæringsstoffer fra jordvæsken nær jordpartikler og bakteriekolonier, som findes uden for udtømningszonen, figur 7. De optagne næringsstoffer kan herefter ved cytoplasmestrømninger i hyfen transporteres til planteroden. På jorde med et lille indhold af plantetilgængelige næringsstoffer spiller mykorrhiza ofte en stor rolle for planternes ernæring - ikke mindst for ernæringen med fosfor.



Figur 7. Illustration af, hvordan VAM-hyfer kan afsøge jorden for næringsstoffer, som findes uden for det skraverede areal = udtømningszonen omkring roden

I de seneste år er det blevet godtgjort, Marschner et al. (1986), Römheld (1987), Römheld og Marschner (1987), Treeby et al (1989), at planter, der tilhører græsfamilien, udskiller phytosiderophorer, som danner stabile metal-komplekser med Fe^{3+} , når planterne udsættes for Fe-mangel. Fe-phytosiderophoren optages herefter selektivt og udissocieret af planteroden. Denne mekanisme er i kontrast til de mekanismer, der findes hos de øvrige plantearter. Disse mekanismer indbefatter:

- 1) En øget kapacitet for reduktion af Fe^{3+} til Fe^{2+}
- 2) Forøgelse af H^+ koncentrationen i rhizosfæren
- 3) Udskillelse af chelater, som danner Fe^{3+} -chelater, der transporteres til den ydre cellemembran omkring rodbark cellerne. Fe^{3+} reduceres herefter til Fe^{2+} og frigøres fra chelatet, før Fe^{2+} optages i cellen.

Af ovenstående følger,

at nogle plantearter er i stand til at øge deres udnyttelse af jord som næringsstofkilde gennem en øget jord- rodkontakt ved udvikling af et stort rodnet, udvikling af rodhår og/eller gennem symbiose med mykorrhizasvampe

at nogle plantearter i udpræget grad kan ændre pH, redoxpotential, og udskille Fe, Mn, Zn og Cu chelatorer til rhizosfæren, når de udsættes for næringsstofmangel

Optagelse af næringsstoffer gennem blade

Det er kendt, at bladcellers optagelse af ioner fra den opløsning, som findes i apoplasten kan udtrykkes ved kinetikken illustreret i figur 6 . Det er ligeledes velkendt, at planter let optager luftformige stoffer (gasser), f.eks. CO_2 , O_2 , SO_2 , NH_3 m.fl. via deres stomata. Optagelse af ioner fra en opløsning, som påsprøjtes bladene, er ligeledes mulig. Optagelse gennem overfladen er imidlertid relativ langsom, fordi planters overjordiske organer er omgivet af et lag voks og cutinlameller - en kutikula. Det er utvivlsomt passagen gennem kutikulanen, som udgør det hastighedsbestemmende led. Hastigheden af optagelse kontrolleres derfor af de faktorer, som kontrollerer kutikulaens permeabilitet for vand og ioner.

Konklusion

Hastighedsbestemmende led i strømning af et plantenæringsstof fra jordpartiklerne og ind i en bevoksning af planter er altid lokaliseret i planten, hvorimod ethvert led i transportprocessen kan være hastighedsbegrænsende.

Lokaliseringen af det hastighedsbestemmende led for optagelsen af et givet plantenæringsstof varierer med størrelsen af aktiviteten/koncentrationen (c_0) af næringsstoffet ved rodo-

verfladen. Derfor varierer transportkinetikken i sin udformning alt efter, om det hastighedsbestemmende led er optagelsen i roden, translokation til vækstpunkterne eller indbygning/indlejring af næringsstoffet i nyt væv. De faktorer, der i et kompliceret samspil kontrollerer hastigheden af et næringsstofs strømning ind i en plantebestand, ligningerne 3, 6, 9 og 11, kan opdeles i de jordbundsfaktorer, som sætter grænserne for størrelsen af den potentielle strømning og de plantefaktorer, som bestemmer størrelsen af den aktuelle strømning.

For de næringsstoffer, hvor det hastighedsbestemmende led er lokaliseret i roden, vil omfanget af næringsstoffoptagelse og dermed effektiviteten af planternes udnyttelse af jord- og gødningsemidler som næringsstofkilder øges:

- a) med stigende overfladeareal hos rodsystemet
- b) hvis c_0 øges f.eks. på grund af ændret pH og/eller redox-potentiale i rhizosfæren
- c) hvis mobilisering/mineralisering øges nær rodoverfladen, f.eks. på grund af rodens udskillelse af ligander, ekso-enzymmer m.m., eller fordi roden indgår i symbiose med enten bakterier eller svampe
- d) hvis længden af vækstperioden øges

Planter besidder således mange strategier, der kan øge deres udnyttelse af jord og gødningsemidler som næringsstofkilder.

En mere hensigtsmæssig udnyttelse af disse strategier kan utvivlsomt nedsætte behovet for anvendelse af gødningsemidler.

Udvikling af principperne for formulering af basis- og suppleringsopløsninger ved dyrkning af planter i inaktive vækstmedier efter regenereringsprincippet samt udvikling af en metode til dyrkning af planter på en livslang kontrolleret diæt åbner mange nye muligheder for plantedyrkning i inaktive vækstmedier i bl.a. væksthuse.

Litteraturliste

Andersen, L. og Nielsen, N.E.: Metode til dyrkning af grønsager med et lille indhold af nitrat. Medd.nr.1203 fra Institut for Kulturteknik og Planteernæring, KVL (ISSN 0901-5302) (under udgivelse)

Barber, S.A. and Martin, J.K. (1976): The rebase of organic substances by cereal roots into soil. New Phytol.76: 69-80

Barber, S.A. (1984): Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach, pp.398. John Wiley & Sons, New York

Bukovac, M.J. and Wittwer, S.H. (1957): Adsorption and mobility of foliar applied nutrients. Plant Physiol. 32: 428-435

Dittmer, H.J. (1949): Root hair variations in plant species. Amer.J.Bot. 36: 152-155

Helal, H.M. and Sauerbeck, D.R. (1984): Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. Plant and Soil 76: 175-182

Jungk, A. and Claassen, N. (1986): Availability of phosphate and potassium as the result of interactions between root and soil in the rhizosphere. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149: 411-427

- Marschner, H., Römheld, V., Horst, W.J. and Martin, P.
(1986): Root-induced changes in the rhizosphere: Importance for the mineral nutrition of plants. *Z. Pflanzen-ernaehr.Bodenk.* 149: 441-456
- Martin, J.K. (1977): Factors influencing the loss of organic carbon from wheat roots. *Soil Biol. Biochem.* 9:1-7
- Nielsen, N.E. (1983): Plant parameters controlling the efficiency of nutrient uptake from soil, pp.199-217 In: Efficient use of fertilizers in agriculture. Developments in plant and soil sciences. Vol.10, pp.352, Martinus Nijhoff/or W.Junk pub.
- Nielsen, N.E. (1986): Transportkinetik for planters optagelse af næringsstoffer fra jord i relation til hastighedsbestemmende og hastighedsbegrænsende led, pp.74. Dr.-disputats. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København
- Nye, P.H. and Tinker (1977): Solute movement in the soil-root system, pp.342. Blackwell Sci.Pub.
- Nye, P.H. (1986): Acid-base changes in the rhizosphere In Advances in plant nutrition (B.Tinker and A.Läuchli (eds.)). PRAEGER vol.2: 129-153
- Römheld, V. (1987): Different strategies for iron acquisition in higher plants. *Physiol.Plantarum* 70: 231-234
- Römheld, V. and Marschner, H. (1987): Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. *Adv.Plant Nutr.* 2: 155-204

Schjørring, J.K., Nielsen, N.E., Jensen, H.E. and Gottschau, A. (1989): Nitrogen losses from field-grown spring barley plants as affected by rate of nitrogen application. Plant and Soil 116: 167-175

Treeby, M., Marschner, H. and Römheld, V. (1989): Mobilization of iron and other micronutrient cations from calcareous soil by plant-born, microbial and synthetic metal chelators. Plant and Soil 114: 217-226

Tuekey, H.B. (1970): The leaching of substances from plants. Ann.Rev.Plant Physiol. 21: 305-324

Wetselaar, R. and Forquhar, G.D. (1980): Nitrogen losses from tops of plants. Adv.Agron. 33: 263-302

Agr.l.c. Hans Ivar Svensson
Lantbrukskemiska stationen, Kristianstad

VÄXT- OCH JORDANALYS FÖR VÄXTNÄRINGSSTYRNING.

Begreppet "växtnäringsstyrning".

Ur både ur produktionsekonomiska och miljömässiga skäl har det blivit allt viktigare att styra gödslingen på bästa sätt med alla tänkbara hjälpmedel. Man kan samtidigt använda kemiska jordanalyser, växtanalyser, fysikaliska undersökningar av marken, observationer på grödan, tidigare erfarenheter och mätningar etc. för att förbättra planeringen. För att markera denna önskade utveckling mot ett systemtänkande kan man använda begreppet "växtnäringsstyrning".

Det är viktigt, att vi håller detta systemtänkande aktuellt. Att ensidigt tro, att någon av de nämnda metoderna är allena saliggörande leder inte till framgång.

Växtanalys - en gammal metod.

Bestämning av gödslingsbehov med hjälp av växtanalys har prövats i över 100 år. Det var ganska naturligt att Liebig's mineralämnesteori ledde till sådana försök. Svårigheterna var dock många. Resultaten var svårtolkade. Analystekniken var för kostsam. Motivationen för att använda tekniken var ej tillräcklig. Mycket grundläggande arbete har dock lagts ner under årens lopp. I dagens läge bör tekniken kunna bli praktiskt användbar i betydligt bredare omfattning än den är.

Det, som förorsakat att växtanalys haft svårt att slå igenom, har varit de komplicerade samband man stött på, t.ex.

- Halterna varierar mellan växtens olika delar.
- Halterna varierar med växtens ålder.
- Olika ämnens halter påverkar varandra inbördes.
- Torka, sjukdomsangrepp m.m. kan störa upptagningen. Man måste över huvud taget vara medveten om att växtanalys oftast inte är särskilt lämpad för diagnos av en gröda, som är sjuk på grund av torka, angrepp av parasiter, extrem felnäring eller ogynnsamma markförhållanden. Växtanalys lämpar sig för friska grödor, där man vill optimera växtnäringsanvändningen.

Numera har vi börjat få en ganska god kunskap om dessa samband.

Datoranvändning underlättar utvärderingen av komplicerade samband.

Analystekniken har också förbättrats starkt. Med hjälp av ICP-spektrometri är det nu möjligt att i en operation analysera ett stort antal ämnen i samma prov.

Olika provtagningsmetoder för växtanalys.

Vanligast är, att man provtar någon bestämd växtedel t.ex. yngsta helt utvecklade blad eller någon annan väl definierad del. Vid täta bestånd av måttligt stora plantor, t.ex. spannmål, tar man hela ovanjordiska plantan. Plantor varierar ofta ganska mycket inbördes. Antalet provtagna plantor får inte vara för litet, 20 helst 40 är önskvärt. Man måste också hålla reda på grödans utvecklingsstadium, t.ex. i form av någon fysiologisk skala, dagar efter uppkomst, e.dyl.

Bestämning av totalhalter i torrsubstans i någon växtedel är vanligast. Kväve bestäms med Kjeldahl eller elementaranaly-

sator. Ett stort antal element t.ex. P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, Mo, Fe, B, Na, S, Al m.fl. kan bestämmas samtidigt med ICP efter uppslutning av en ringa provmängd.

Om man väljer rätt växtdel, finns det ett ganska stort internationellt material för tolkning av dessa värden. Alla dessa referenser är dock inte pålitliga. Egna nordiska erfarenheter, helst i form av välplanerad försöksverksamhet, torde behövas för de flesta växtslag. I en del fall är kvoter mellan olika ämnen bättre mått på tillståndet än halterna. För åtminstone makronäringsämnen bör man i regel ta hänsyn till både halter och kvoter.

Nitratkvävehalten i köttiga bladskäft eller i själva stammen är ett känsligare mått på växtens aktuella kväveupptagning än totalkväve i blad. Detta kan vara både en fördel och en nackdel. En arbetsteknisk nackdel är, att nitratkväve och totalhalter av övriga näringsämnen oftast inte lämpar sig att bestämmas på samma prov.

Nitrat kan bestämmas som extrakt ur ett torkat och malt prov eller i pressaft från växten.

Analysering av andra växtnäringsämnen än nitratkväve i pressaft från växtdelar förekommer som bekant i stor skala här i landet. Problemet med denna slags extraktion är, att ämnena inte flyter fritt omkring i växtens saftström. En del är säkert komplexbundna till vattenlösliga organiska ämnen. Andra är bundna till kolloider och till växtens fasta strukturer. Detta innebär, att variationer i tekniken att ta fram denna pressaft leder till varierande resultat. Att få jämförbara resultat på olika laboratorier blir svårare.

För att utveckla fungerande växtanalyssystem är det givetvis en fördel, om man internationellt kan ena sig om metoderna både för provtagning, beredning av extrakt och analys av extraktet.

Jordananalys.

AL-metoden används generellt inom svensk växtodling. Det är då naturligt, att den även används vid fältmässig grönsaksodling. AL-metoden mäter markens kapacitet för leverans av växtnäring. Särskilt vid höga P-AL-klasser finns det dock önskemål om att ha en kompletterande metod, som mera är inställd på att mäta intensiteten, d.v.s. leveranshastigheten eller koncentrationen i markvätskan.

AL-metoden passar inte för kväveanalys.

Spurwaymetoden har använts mycket länge i växthus. Efter som samma odlare ofta haft både växthusodling och frilandsodling, har den fått användning även på friland. Ett problem är att mineralkvävet inte är stabilt vid normal transport och provberedning av Spurwayprov. Vid växthusprov med höga nitrathalter torde detta vara utan betydelse. I frilandsprov är säkert förändringarna påtagliga. Många frilandsodlare anser trots detta, att nitratkväve enligt Spurway är ett gott mått på kvävetillståndet.

Spurway-metoden är utan tvivel mera intensitetsinriktad än AL. Men den har en nackdel. Den mycket svaga ättiksyralösningen neutraliseras lätt av kalk i marken. Dess förmåga att extrahera fosfor ändras i sådana fall.

Vill man ha ett mått på den verkliga mineralkvävehalten, måste proven transporteras och provbereddas i kylt eller fryst tillstånd. Detta kommer att behandlas i andra föredrag.

För bestämning av intensitet används extraktion med rent vatten eller en neutralsaltlösning.

I Kristianstad prövar vi f.n, en metod att göra extraktion med ett i förhållande till jorden ringa överskott av vatten. Extraktionen sker i centrifugrör. Extraktet skiljs ut genom centrifugering. Närmare en ren intensitetsmetod kan man knappast komma. Vi tror att denna teknik kan få stor betydelse.

I Holland arbetar man med en 0,01 molar kalciumkloridlösning.

Vilket är bäst - växtanalys, jordanalys eller en kombination?

Det är egendomligt att konstatera att rubrikens fråga fortfarande är aktuell. Det förekommer t.ex. fortfarande att någon förespråkare för växtanalys påstår att nu har den tekniken kommit så långt att jordanalys är onödig.

Detta är fel. Det finns ingen motsättning mellan växt- och jordanalys. Båda teknikerna liksom olika jordextraktionsmetoder bör ingå i system för effektiv växtnäringsstyrning.

Vid växtanalys under vegetationstiden bör man i regel alltid samtidigt ha med jordanalys med avseende på mineralkväve. Endast om man har vattenfaktorn mycket väl under kontroll, kan man möjligen nöja sig med växtanalys.

Utvecklingsarbetet måste intensifieras.

Inledningsvis konstaterades att rätt gödslingsplanering blir allt viktigare. Tyvärr drivs inte utvecklingen av växtnäringsstyrning alls i den takt, som behövs.

Utvecklingsarbetet med växt- och jordanalysmetoder liksom hela systemet bör intensifieras och drivas av eller i samarbete med SLU. Det måste skapas mer resurser för detta.

I systemarbetet måste också rådgivare engagera sig mera. Analyserna är delar av den totala planeringen. Växtanalyser får inte göras till en affär enbart mellan laboratorier och odlare.

Cand. scient Hans Spelling Østergaard
Landskontoret for Planteavl
Udkørsvej 15, Skejby, DK-8200 Århus N

GØDSKNING EFTER N-MIN-METODEN

I n d l e d n i n g

I grønsagsdyrkningen har krav om maksimalt indhold af nitrat i afgrøderne gjort det nødvendigt at interessere sig for jordens indhold af nitrat- og ammoniumkvælstof (N-min).

Men også i traditionelle landbrugsafgrøder kan der være behov for denne metode til at forudsige behovet for kvælstofgødning.

Det gælder især, hvor der anvendes husdyrgødning eller er dyrket afgrøder med stor kvælstofeftervirkning.

N-min-metoden i praktisk anvendelse

Kendes jordens N-min-indhold beregnes gødningsbehovet:

$$\begin{array}{rcl} \text{Optimal gødsning} & = & \text{Optimal kvælstofforsyning} - \text{N-min} \\ \text{kg N/ha} & = & \text{kg N/ha} \qquad \qquad \text{kg N/ha} \end{array}$$

Værdierne for den optimale kvælstofforsyning i tabel 1 er for vårbyg og vinterhvede baseret på et stort antal forsøg under danske forhold.

Afgrøde	Forfrugt	Forventet udbytte hkg/ha	Optimal kvælstofforsyning på mineraljord kg N/ha
Vinter- hvede	Korn	70	220
	Raps	80	205
	Ærter	75	205

Tabel 1: Værdier for den optimal kvælstofforsyning til vinterhvede under forskellige forhold 1988.

Der findes tilsvarende værdier for den optimale kvælstofforsyning for en række grønsagsafgrøder baseret på tyske forsøg, men modificeret efter danske forhold.

Mineralisering af husdyrgødning i vækstperioden

Hvis marken er tilført husdyrgødning inden for det seneste år, sker der i løbet af vækstsæsonen en mineralisering af den tilbageværende organiske kvælstofmængde. Denne forøgede mineralisering skal trækkes fra værdien for den optimale kvælstofforsyning.

Størrelsen af mineraliseringen kan udregnes fra følgende "tommelfingerregel": Total på årsbasis kan påregnes en mineralisering mellem 25 og 35 pct. af husdyrgødningsorganer til kvælstofindhold.

I løbet af vækstperioden kan påregnes en mineralisering mellem 15 og 25 pct. af den tilbageværende mængde organisk bundede kvælstof.

Afprøvning af N-min-metoden

I 13 forsøg i vårbyg er der i 1988 indhentet oplysninger om tilførsel af organisk stof inden for de seneste 5 år.

I disse forsøg har N-min-metoden i gennemsnit foreskrevet anvendelse af 53 kg kvælstof pr. ha. Det gennemsnitlige merudbytte ville have været 9,8 hkg kerne pr. ha, hvis N-min-metodens anvisninger var blevet fulgt. Det har resulteret i et nettomerudbytte (merudbytte - omkostninger til kvælstof og udbringning) på 7,4 hkg kerne pr. ha eller stort set samme nettomerudbytte som ved anvendelse af 80 kg N i alle forsøg.

N-min-metoden undervurderede kvælstofbehovet i vinterhvede i 1988. I gennemsnit af forsøgene var det økonomiske optimum 189 kg N pr. ha, mens N-min-metoden anbefalede et gennemsnit på 165 kg N pr. ha. Netto-merudbytterne er dog næsten ens: 29,4 hkg, hvor alle forsøgene gødes økonomisk optimalt og 28,0 hkg, hvor N-min-metoden anvendes.

N-min-metodens begrænsninger

N-min-metoden baseres på jordmålinger i det tidlige forår. Metoden kan anvendt under de rigtige forhold være en værdifuld retningsgiver for gødningsbehovet.

Men bl.a. vejrforholdene i vækstperioden påvirker afgørende afgrødernes kvælstofbehov. Metoden kombineres derfor ideelt med en analyse af afgrødens ernæringstilstand f.eks. nitrattesten, som er en hurtigmetode til vurdering af afgrødens øjeblikkelige kvælstofforsyning.

L i t t e r a t u r

Landskontoret for Planteavl, 1989: Gødskning efter N-min-metoden.

Landskontoret for Planteavl, 1989: Nitrattesten.

Østergaard, H.S., 1989. Styring af kvalitet og produktion, Agrologisk Tidsskrift Marken, 1989:3, s. 19-23.

Agr Dr Göte Bertilsson
Supra AB, Box 516,
S-261 24 Landskrona, Sverige

TEKNIK FÖR VÄXTNÄRINGSBEVATTNING

V a r f ö r n ä r i n g s b e v a t t n i n g ?

Några aspekter:

1. Arbetsbesparing. När man vattnar får man ut växtnäringen på köpet.
Gäller främst: "bevattningsjordbruket".
2. Minskad körning i uppvuxet bestånd - mindre körskador.
Gäller främst: potatis och vissa specialgrödor.
3. Garanterad växtnäringsverkan oberoende av väder. Möjliggör styrd, effektiv och miljövänlig näringstillförsel under alla förhållanden.
Gäller främst: de flesta grödor.
4. Möjligheter till nyutveckling och nya skördekvantiteter genom speciell växtnäringsstyrning.
Möjligheter: kontraktsodlingar vete (proteinkvalitet)
 grönsaker (nitrat halt)
 osv
5. Bevattning med svag näringslösning kan ge bättre verkan än vanlig gödsling plus bevattning.
Möjliga orsaker: distribution i marken, upplösningssförlopp, svag koncentration positiv.

T e k n i s k a l ö s n i n g a r f ö r j o r d b r u k s g r ö d o r

Näringsbevattning med storspridare

Storspridarens vindkänslighet gör den olämplig för utspridning av stora näringsmängder. Stor ojämnheter kan riskeras. Emellertid om det gäller en mindre tilläggsgiva och man iakttar omsorg vid körningen är storspridaren acceptabel.

Med en granulatinjektor står det vanliga breda gödselsortimentet till förfogande. Indosering av flytande gödsel kan också göras.

Näringsbevattning med ramper

Rampbevattningen börjar utvecklas i Sverige. Ramperna ger jämn och säker distribution och kan bli precisionsinstrument för anpassning och styrning av såväl växtnäring som vatten. För en del ramper krävs fullständigt upplösbara eller flytande gödselmedel. I andra rampsystem kan granulatinjektorer användas. Förhoppningsvis kan sådana rampsystem så småningom komma till användning även för miljövänlig återföring av stallgödsel m m.

Gödselmedel

För droppbevattning och växthus används fullständigt upplösbara, raffinerade gödselmedel. Dessa är i allmänhet för dyra för jordbruket.

Flytande gödselmedel för jordbruket finns som kvävelösningar (N 30) och NP-lösningar. Viss utveckling på NPK-sidan har förekommit.

Med granulatinjektor kan det vanliga gödselsortimentet användas. I många gödselmedel finns svårlösta beståndsdelar, t.ex. dolomit. Dessa åker ut i uppslammad form. På Supra prövar vi nu granulatinjektorer på fjärde året med flera olika gödselmedel. Dessa tillförs efter pumpen. Granulerna upplöses och sönderfaller under transporten i bevattningsmaskinen. Kväve och kalium samt fosforns vattenlösliga del kommer att bli så gott som helt upplöst. Ofta kommer frågan om det hinner lösas upp. I alla normala fall är frågan

oväsentlig för växtnäringseffekten. Sprider man gödsel på vanligt sätt kommer den ju oupplost på marken. Även om säg 10% av gödseln inte hinner helt upplösas i vattnet innan den hamnar på marken påverkas växtnäringsverkan inte märkbart.

F r a m t i d e n

Effektivt utnyttjande av vatten och näring kommer att bli ännu viktigare framöver. Här finns plats för systemutveckling från grunden, både vad gäller teknisk utrustning som biologisk tillämpning.

Näringsbevattnings är inte bara ett system för att ge nu rekommenderade näringsmängder på ett enkelt och säkert sätt. Det är ett system för ekologisk och biologisk optimering. Det är ett system som tillåter växtodlingsutveckling i en ny dimension, att mycket mera målmedvetet än nu styra mot bestämda kvalitetsmål.

MÖJLIGHETER TILL BÄTTRE VÄXTNÄRINGSUTNYTTJANDE VID RADGÖDSLING I GRÖNSAKER

Inledning

Vid radgödsling hamnar gödseln djupare och i fuktigare jord jämfört med konventionell bredspridning och blir därmed fortare i tillgänglig form för växten. Dessutom placeras gödseln nära plantornas rötter vilket ger ett bättre utnyttjande av gödseln. Dock skall den inte placeras alltför nära så att den kommer i direkt kontakt med fröet eller plantan, eftersom det då är risk för saltskador som motverkar groning och plantetablering. Försök har visat att gödseln bör placeras några centimeter vid sidan om och några centimeter djupare än såraden.

Försök med radgödsling i lantbruksgrödor finns redovisade för flera växtslag, bl.a. stråsäd (Huhtapalo, 1980), sockerbetor (Olsson-Sörensson, 1987) och potatis (Carlsson, 1988). Jämfört med bredspridning av gödseln över hela odlingsytan har skördeökningarna vid radgödsling, beroende på växtslag, sort, försöksplats, årsmån m.m., varit 4-15 procent.

Vid Avdelningen för köksväxtodling har under senare år utförts radgödslingsförsök i flera växtslag, bl.a. kepalök, frilandsgurka och blomkål som redovisas här.

Radgödslingsförsök i kepalök

Försöken i kepalök var utlagda på Torslunda försöksstation (Öland). Jordarten var måttligt mullhaltig sandig lättlera med K-AL klass III och P-AL klass IV. I de radmyllade leden placerades gödseln i en sträng 6 cm sidan om raden och ca 8 cm djupt. Radavståndet var 45 cm och sådd skedde i mitten av april. Försöken bevattnades med 20 mm vid behov. Samtliga led, utom det ogödslade ledet, övergödslades med 40 kg N i början av juni. Sort i försöken var Hygro.

Tabell 1. Kepalök, Torslunda. Försöksled och avkastning 1986 och 1987

Försöksled	1986		1987	
	klass 1	rel.	klass 1	rel.
	t/ha		t/ha	
a. 800 kg NPK mikro 8-7-16 bredspr.	59,8	100	55,9	100
b. 800 " " " 8-7-16 radmylln.	64,1	107	58,2	104
c. 600 " " " 8-7-16 bredspr.	62,1	104	47,9	86
d. 600 " " " 8-7-16 radmylln.	65,6	110	62,3	111
e. 400 " " " 8-7-16 bredspr.	55,7	93	53,7	96
f. 400 " " " 8-7-16 radmylln.	62,9	105	59,4	106
g. Ogödslat	37,5	63	24,0	43

Resultaten var mycket samstämmiga 1986 och 1987. Radmyllning gav högre skörd än om samma giva bredspriddes. Dessutom uppnåddes den högsta skörden båda åren i led d, dvs. radmyllning av 600 kg NPK. Under 1987 skördades en del av försöksrutorna två resp. fyra veckor före den egentliga skörden i slutet av augusti. Radmyllning medförde tidigare utveckling och avmognad, dvs. ju tidigare skörd desto större positiv effekt av radmyllning jämfört med bredspridning.

Tabell 2. Kepalök, Torslunda. Försöksled och avkastning 1988

Försöksled	Klass 1	
	t/ha	rel.
a. 800 kg NPK mikro 8-7-16 bredspridning	57,3	100
b. 800 " " " 8-7-16 radmyllning	48,6	85
c. 600 " " " 8-7-16 bredspridning	51,5	90
d. 600 " " " 8-7-16 radmyllning	50,8	89
e. 400 " " " 8-7-16 bredspridning	47,8	83
f. 400 " " " 8-7-16 radmyllning	50,9	89
g. 200 " " " 8-7-16 bredspridning	50,7	88
h. 200 " " " 8-7-16 radmyllning	46,1	80
i. Ogödslat	43,6	76

Liksom under 1987 skördades det även två och fyra veckor före den redovisade skörden i tabell 2. Vid det första skördetillfället gav radmyllning genomgående högre, och vid 400 kg NPK, avsevärt högre skörd än bredspridning. Men i motsats till föregående år var vid slutskörd inte radmyllning entydigt positivt jämfört med bredspridning, utan det var endast vid 400 kg NPK som radmyllning gav en högre totalskörd. Det fanns en tendens till att en högre gödslingsgiva gav högre avkastning, men skillnaden mellan 200 och 800 kg NPK var relativt liten.

Radgödslingsförsök i frilandsgurka

Försöken med radgödsling i frilandsgurka utfördes på Torslunda och jordarten var här måttligt mullhaltig sandig mo med K-AL klass III-IV och P-AL klass III. I leden med radmyllad gödsel placerades denna ca 5 cm om raden och 5-7 cm djupare än fröna. Radavståndet var 120 cm och plantavståndet 17 cm. Sådd skedde i slutet av maj och försöken skördades under ca en månad. Samtliga led övergödslades med 40 kg N vid blomningens början. Sort var 1986 Conda och 1988 Kokard.

Försöksled 1986-1988:

- a. Obevattnat } 700 kg NPK mikro 8-7-16 bredspridning
- b. Bevattnat }
- c. Obevattnat } 700 kg NPK mikro 8-7-16 radmyllning
- d. Bevattnat }
- e. Obevattnat } 500 kg NPK mikro 8-7-16 bredspridning
- f. Bevattnat }
- g. Obevattnat } 500 kg NPK mikro 8-7-16 radmyllning
- h. Bevattnat }
- i. Obevattnat } 400 kg Nutricote 14-6-12 radmyllning
- j. Bevattnat }
- k. Bevattnat 380 kg Osmocote Plus 15-5-11 radmyllning

Tabell 3. Frilandsgurka, Torslunda. Avkastning 1986 och 1988

Led	1986			1988					
	Prima	rel.	Ant.prima.+ Överstora (1000/ha)	rel.	Prima	rel.	Ant.prima + Överstora (1000/ha)	rel.	
a.	15,6	100	193,4	100	35,5	100	505,3	100	
b.	26,3	169	330,5	171					
c.	13,8	88	189,7	98	41,5	117	560,0	111	
d.	27,6	177	366,1	189					
e.	19,5	125	250,3	129	40,2	113	546,1	108	
f.	32,6	209	411,9	213					
g.	19,8	127	250,4	129	41,6	117	567,8	112	
h.	30,3	194	393,4	203					
i.	18,8	121	256,0	132	37,3	105	491,6	97	
j.	29,2	187	393,4	203					
k.	30,3	194	403,1	208	39,4	111	511,6	101	

År 1986 bevattnades det vid två tillfällen med 20 mm, vilket gav en kraftig skördeökning. En sänkning av gödselgivan från 700 kg till 500 kg medförde en ökad avkastning. Däremot gav inte radmyllning någon avkastningshöjning jämfört med bredspridning. Radmyllning av Nutricote resp. Osmocote medförde visserligen högre skörd än 700 kg NPK radmyllat eller bredspritt, men snarare något lägre skörd än 500 kg NPK.

Onormalt låga temperaturer 1987 medförde att det inte blev någon skörd.

Under 1988 kom det så mycket nederbörd att det inte utfördes någon bevattning. Detta år medförde radmyllning av NPK en avkastningshöjning jämfört med bredspridning. Men något förvånande var det större effekt av radmyllning vid den högre än den lägre gödselgivan. Radmyllningen medförde även något tidigare skörd. De långtidsverkande gödselmedlen gav varken högre eller tidigare skörd jämfört med radmyllad NPK.

Radgödslingsförsök i blomkål

Försöken var utlagda på Stjärnelunds försöksstation (Höganäs) och Ultuna. Jordarten på Stjärnelund var något mullhaltig lerig moränmo med K-AL klass III och P-AL klass IV och på Ultuna måttligt mullhaltig styv lera med K-AL och P-AL klass IV. Vid radmyllningen placerades gödseln 8-10 cm vid sidan om raden och ca 10 cm djupt. Rad- och plantavstånd var 50 cm. Bevattning skedde vid behov med 20 mm. Samtliga led, utom det ogödslade ledet 1989, övergödslades med 300 kg kalksalpeter 3 och 5 veckor efter plantering. Sort var 1985-1986 Brigo och 1989 Gunvi.

Tabell 4. Blomkål, Stjärnelund. Försöksled och avkastning 1985 och 1986

Försöksled						1985		1986	
						klass	1+2	klass	1+2
						t/ha	rel.	t/ha	rel.
a.	1200	kg	NPK	mikro	11-5-18 bredspr.	24,3	100	18,1	100
b.	1200	"	"	"	11-5-18 radmylln.	22,5	93	17,4	96
c.	800	"	"	"	11-5-18 "	23,0	95	22,1	122
d.	600	"	"	"	11-5-18 "	22,1	91	20,6	114

Båda åren gav bredspridning av 1200 kg NPK något högre avkastning än om samma mängd radmyllades. Radmyllning av lägre gödselgivor gav 1985 ungefär samma avkastning som 1200 kg medan det 1986 gav betydligt högre avkastning.

Tabell 5. Blomkål, Ultuna. Försöksled och avkastning 1985 och 1986

Försöksled	1985		1986	
	klass	1+2	klass	1+2
	t/ha	rel.	t/ha	rel.
a. 1200 kg NPK mikro 11-5-18 bredspr.	21,9	100	18,5	100
b. 1200 " " " 11-5-18 radmylln.	23,0	105	19,9	108
c. 800 " " " 11-5-18 "	22,3	102	17,1	92
d. 600 " " " 11-5-18 "	22,8	104	18,8	102

Såväl 1985 som 1986 erhöles den högsta skörden vid radmyllning av 1200 kg NPK, men skörden blev nästan lika hög om man radmyllade endast halva givan.

Blomkål, Stjärnelund. Försöksled 1989:

- a. 1200 kg NPK mikro 11-5-18 bredspridning
- b. 1200 " " " 11-5-18 radmyllning
- c. 1000 " " " 11-5-18 bredspridning
- d. 1000 " " " 11-5-18 radmyllning
- e. 800 " " " 11-5-18 bredspridning
- f. 800 " " " 11-5-18 radmyllning
- g. 600 " " " 11-5-18 bredspridning
- h. 600 " " " 11-5-18 radmyllning
- i. 400 " " " 11-5-18 bredspridning
- j. 400 " " " 11-5-18 radmyllning
- k. Ogödslet

Resultatet från årets försök föreligger inte vid manusstopp, men kommer att redovisas vid seminariet.

Diskussion och sammanfattning

I danska försök (Henriksen, 1982) med s.k. startgödsling – tillförsel av radmyllad fosforgödsel vid sådd/plantering – till kepalök (frö och sättlök) erhöles såväl en avkastningshöjning som en tidigare utveckling och avmognad. Norska försök (Dragland, 1984) med radmyllning av bl.a. monoammoniumfosfat till sättlök visade en ökad avkastning, om än ej alltid statistiskt säker. I ett svenskt försök (Mattsson, 1988) med startgödsling till kepalök utlagt i Skåne och på Öland blev avkastningen något högre vid radmyllning än vid bredspridning.

I de här redovisade försöken i kepalök radmyllades grundgödslingsgivan av fullgödselmedel. Två av tre år gav radmyllning av en viss mängd NPK högre avkastning än om samma mängd bredspriddes. Det tredje året var det främst positivt med radmyllning om löken

skördades mycket tidigt. Samtliga år medförde radmyllning tidigare utveckling och avmognad, vilket är en fördel när det gäller att få fram en lagringsduglig produkt. Av resultaten framgår dessutom att gödselgivan bör kunna sänkas betydligt vid radmyllning – från 800 kg till 600 kg eller t.o.m. 400 kg per ha om övergödsling med kalksalpeter motsvarande 40 kg N.

Tidigare försök i frilandsgurka 1984-1985 (Erlandsson, 1988) visade ingen positiv effekt av radmyllning, oavsett om gödseln var i form av NPK-gödsel eller långtidsverkande gödselmedel. År 1988 medförde dock radmyllning av NPK såväl något tidigare som högre skörd. Däremot gav bredspridning eller radmyllning av 500 kg NPK genomgående högre avkastning än 700 kg NPK (om övergödsling med 40 kg N).

Av försöken i blomkål 1985-1986 (Erlandsson, 1987) framgick att radmyllning av betydligt lägre gödselgivor än brukligt i medeltal ej gav någon minskad avkastning. Radmyllning eller bredspridning av den högsta givan, 1200 kg NPK, innebar emellertid oftast en något tidigare skörd än vid de lägre gödselgivorna. Under 1989 genomföres ett försök där 400, 600, 800, 1000 och 1200 kg NPK bredsprides eller radmyllas för att studera inverkan av gödselmängd och gödslingsmetod på avkastning och tidighet.

Litteratur

Carlsson, H. 1988. Högre potatisskörd när gödseln placeras.
FAKTA Mark-växter nr 7.

Dragland, S. 1984. Fosforgjödning till kepalök. Gartner-
yrket 74, s. 192-194.

Erlandsson, G. 1987. Försök med radgödsling till blomkål.
FAKTA Trädgård nr 518.

Erlandsson, G. 1988. Radmyllningsförsök i köksväxter. Trädgårds-
konferensen i Alnarp 1988. Konsulentavdelningens rapporter,
Trädgård 344, s. 20:1-6.

Henriksen, K. 1982. Startgödning till kepaløg. Statens Plante-
avlsforsøg, Meddelelse nr 1652.

Huhtapalo, A. 1980. Fördelar och nackdelar med kombisådd. Lant-
mannen nr 5, s. 8-12.

Mattsson, B. 1988. Startgödsling till kepalök. Konsulentavdel-
ningens rapporter, Trädgård 336.

Olsson-Sörensson, M. 1987. Radmyllning av kväve till socker-
betor – något att räkna med! Betodlaren nr 1, s. 29-33.

GØDSKNING AF GRØNSAGER PÅ BASIS AF N-MIN METODEN

I n d l e d n i n g

Gødskning af grønsager bygger i dag hovedsageligt på udførte gødningsforsøg og foretages efter vurdering af aktuelle jordanalysetal. På baggrund af en jordanalyse vurderes behovet for tilførsel af fosfor, kalium, magnesium m.fl. næringsstoffer, og på baggrund af et kendskab til jordtype, forfrugt og tilført organisk gødning vurderes behovet for tilførsel af kvælstofgødning.

Af økonomiske og miljømæssige årsager er det specielt vigtigt, at planternes ernæring med kvælstof præciseres yderligere. Brug af jordanalyser udtaget før eller i vækstperioden er en anvendelig metode hertil.

N-min eller mineralsk kvælstof

Kvælstof findes i jorden dels bundet i organisk stof, blandt andet planterester, humus og mikroorganismer, og dels opløst i jordvandet eller let bundet til jordpartiklerne. Sidstnævnte del består af nitrat- og ammonium-kvælstof og benævnes uorganisk kvælstof eller mineralsk kvælstof.

Jordens indhold af mineralsk kvælstof eller "N-min" øges, når organisk stof i jorden nedbrydes, eller når jorden tilføres kvælstof i handelsgødning. "N-min" er en værdi, der udtrykker den øjeblikkelige mængde af plantetilgængeligt kvælstof i jorden i hele roddybden.

N-Sollwert eller optimal kvælstofforsyning

N-min begrebet er opstået i Holland (Borst og Mulder, 1971, Ris, 1974) og videreudviklet specielt i Vesttyskland (Scharpf og Wehrmann, 1975, Wehrmann og Scharpf, 1979, Scharpf og Weir, 1988), hvor også ordet "Sollwert" henføres.

N-Sollwert er en værdi, der udtrykker planternes optimale forsyning med uorganisk kvælstof. De optimale værdier er fundet ved, i N-gødningsforsøg, at udtage jordprøver til analyse for uorganisk kvælstof. Planternes optimale forsyning dækkes dels ved jordens indhold af plantetilgængeligt kvælstof og dels ved tilført kvælstofgødning. N-gødskningen kan således beregnes ud fra følgende:

$$\text{Aktuel N-gødskning} = \text{Optimal N-forsyning} - \text{N-min}$$

Udtagning af jordprøver

Jordprøver til analyse for mineralsk kvælstof udtages kort tid inden gødningstilførsel og afgrødeetablering, det vil sige ofte om foråret i marts-april måned. Udtagningen bør ikke foretages tidligere, idet den nedadgående vandbevægelse, der finder sted om vinteren, skal være ophørt. Udtagningen

bør foretages så tæt på planteetableringstidspunktet som muligt, idet usikkerhed vedrørende omfanget af frigjort kvælstof ved mineralisering derved formindskes.

Udtagning af jordprøver alene fra pløjelaget er ikke tilstrækkeligt, da planterne også optager kvælstof fra jorden under pløjelaget. Dybden, hvorfra jordprøver skal udtages, afhænger af hvilken afgrøde man påtænker at dyrke. Nogle plantearter har et kraftigt og dybtgående rodnet, andre et svagt og overligt rodnet til afsøgning af næringsstoffer.

Organisk stof

Udtagning af jordprøver til analyse for N-min foretages fortrinsvis, og med størst udbytte, på jorde, hvor indholdet af uorganisk kvælstof forventes at være stort, eller hvor indholdet af organisk stof er stort, det vil sige på jorde, hvor der er tilført husdyrgødning, på ompløjede græsarealer og på jorde, der har været dyrket med grønsager eller andre afgrøder med stor kvælstofeftervirkning.

Hvis dyrkningsarealet er tilført store mængder organisk stof, sker der i løbet af vækstperioden en nedbrydning af dette. Herved frigøres der plantetilgængeligt kvælstof. Denne mængde skal, i lighed med N-min værdien, trækkes fra værdien for optimal N-forsyning:

Aktuel N-gødskning = Optimal N-forsyning - N-min - N-frigjort

Størrelsen af den N-mængde, der frigøres ved mineralisering, kan kun skønnes, idet mineraliseringshastigheden blandt andet er afhængig af jordtemperatur, jordfugtighed og det organiske stofs beskaffenhed.

N-min under væksten

I ovennævnte beskrivelse af N-min metoden gennemføres analyser til fastlæggelse af jordens indhold af mineralsk kvælstof én gang før planteetablering. En anden metode, ligeledes udviklet i Vesttyskland (Lorenz et al., 1986), går ud på at udtage jordprøver til fastlæggelse af jordens indhold af mineralsk kvælstof såvel før som under væksten. Jordprøverne udtages her også før en 2. gødningstilførsel. Fordelen ved denne metode er, at der tages højde for den mineralisering, der har fundet sted indtil 2. jordprøveudtagning. Et eventuelt udvaskningstab i samme periode bliver derved også regnet med.

Ved denne metode udtages jordprøverne 1. gang på samme tidspunkt som ved den førstnævnte metode, men nu kun i pløjelaget. Disse jordprøver anvendes til vurdering af, om jordens kvælstofgødningstilstand er tilstrækkelig stor til at tilfredsstille planternes behov indtil 2. gødningstilførsel.

Ved 2. gødningstilførsel beregnes gødningsmængden på basis af jordprøver udtaget kort tid forinden i hele planteartens roddybde.

Værdierne for optimal N-forsyning ved 2. gødskningstidspunkt er af samme størrelsesorden eller ligger under værdierne for optimal N-forsyning på planteetableringstidspunktet (førstnævnte metode). Denne forskel skyldes, at der i perioden fra etablering til udtagning af jordprøver under væksten, har fundet såvel optagelse af kvælstof i planterne som frigørelse af kvælstof ved mineralisering sted.

I visse meget langvarige kulturer såsom vinterkål og sene rosenkål kan det være på sin plads også at vurdere jordens kvælstofgødningstilstand før en 3. gødningstilførsel.

Grønsagers N-forsyning

I Vesttyskland er der ikke alene til landbrugsafgrøder, men også til grønsagsafgrøder, udarbejdet værdier for optimal N-forsyning for en række forskellige grønsager (Scharpf og Weier, 1988). En gennemgang af N-min-metoden herunder tabelværdier for optimal N-forsyning af grønsager, gældende for vesttyske dyrkningsforhold, er foretaget (Sørensen, 1988). For visse vigtige grønsager er der udarbejdet foreløbige værdier justeret til danske forhold (Anonym, 1989).

F o r s ø g 1 9 8 8

Resultater opnået i vesttyske dyrkningsforsøg kan ikke umiddelbart overføres til danske forhold og dyrkningsbetingelser. Derfor er der i 1988 gennemført forsøg med gulerod cv. 'Nandor' F1, porre cv. 'Københavns Torve-Imperial' og hvidkål 'Hidena' F1 med det formål at fastlægge disse kulturers optimale N-forsyning under danske dyrkningsbetingelser.

De 3 forskellige grønsagsafgrøder er forsynet med kvælstof dels ved mineralisering af afgrøderester dels ved tilførsel af handelsgødning.

For opnåelse af et forsøgsareal med forskellige forfrugtsværdier eller N-min-indhold er der i 1987 etableret vinterhvidkål og vårbyg. Afgrøderne er dyrket/høstet som i normal praksis, dvs. at bygkerne, -halm og salgbare hvidkåls-hoveder er fjernet fra dyrkningsarealet. Udbyttet af hvidkål var i 1987 forholdsvis lille. Planterester fra de 2 afgrøder er nedpløjet i november måned.

I april måned 1988 er der udtaget jordprøver i 0-100 cm's dybde for vurdering af 1987-forsøgsarealets kvælstofgødningstilstand. Jordprøverne er analyseret for nitrat-N og ammonium-N. Resultater heraf viser at der til 1 m's dybde findes 3 gange så meget uorganisk kvælstof efter vinterhvidkål som efter vårbyg.

Tabel 1. Indhold af uorganisk kvælstof i jord i kg N pr. ha i jordlag á 25 cm's dybde medio april måned 1988.

Forfrugt	Jordlag	Nitrat-N	Ammonium-N	N-min
Vinterhvidkål	0-25	29	9	38
	25-50	20	3	23
	50-75	16	3	19
	75-100	14	2	16
Vårbyg	0-25	9	5	14
	25-50	6	3	9
	50-75	5	2	7
	75-100	3	1	4

De 3 forskellige grønsagsafgrøder er etableret i slutningen af april måned ved direkte såning. 4 forskellige niveauer af N-forsyninger er søgt opnået ved tilførsel af kalksalpeter ad 2 gange. 1. N-tilførsel er foretaget efter fuld fremspiring. 2. N-tilførsel er foretaget under væksten efter følgende plan, hvor dybde angiver den jorddybde hvortil jordprøver er udtaget til beregning af N-min.

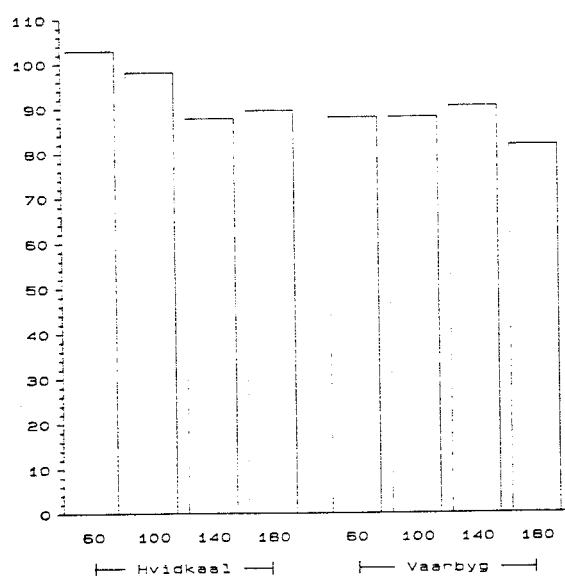
Afgrøde	Dybde, cm	N-forsyning, kg N pr. ha			
Gulerod	50	60	100	140	180
Porre	50	100	160	220	280
Hvidkål	100	160	240	320	400

De 3 forskellige grønsagsafgrøder er høstet i oktober måned hvor udbyttebestemmelse og kvalitetsvurdering er foretaget. Umiddelbart efter høst er der udtaget jordprøver i jordlag á 25 cm ned til 1 m's dybde for vurdering af hvor meget kvælstof de 3 forskellige afgrøder har efterladt.

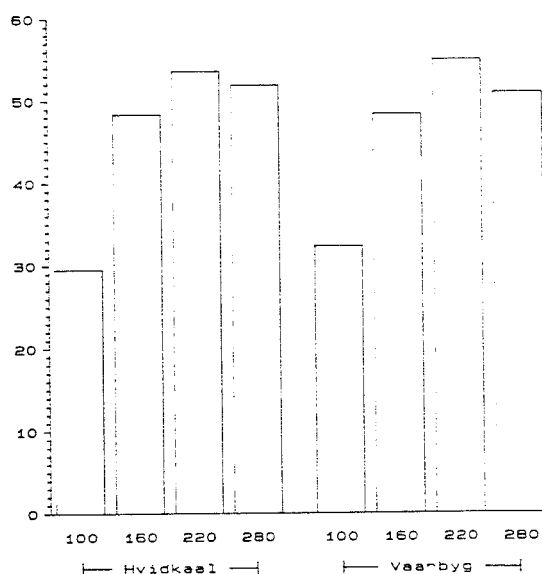
R e s u l t a t e r 1 9 8 8

Udbytte

Stigende N-forsyning til gulerod, med vinterhvidkål som forfrugt, har reduceret udbyttet af salgbare gulerødder (fejlfrø over 50 g pr. stk) fra 100 til 90 t pr. ha. (figur 1). En N-forsyning på 60, 100 eller 140 har resulteret i et udbytte på 90 t pr. ha, hvor forfrugten har været vårbyg. Maksimalt udbytte er således opnået ved en N-forsyning på 60 kg N pr. ha hvor forfrugten har været vinterhvidkål. Forskellen mellem de 4 N-forsyninger og mellem de 2 forfrugter er ikke statistisk sikker.



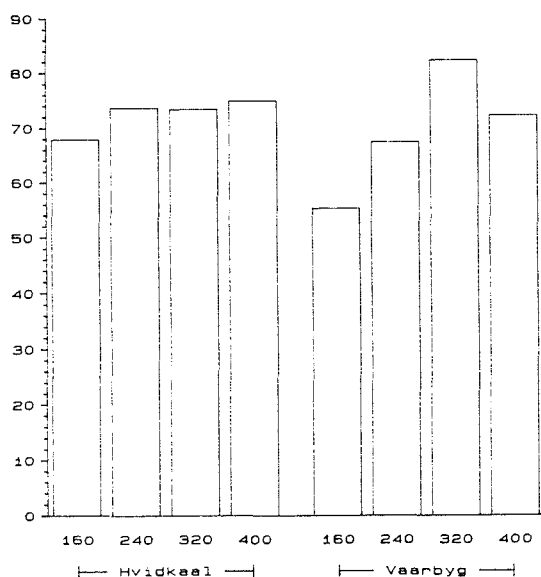
Figur 1. Effekten af forfrugt og N-forsyning på udbyttet af brugbare gulerødder i t/ha.



Figur 2. Effekten af forfrugt og N-forsyning på udbyttet af brugbare porrer i t/ha.

En N-forsyning på 100 over 160 til 220 kg N pr. ha har resulteret i stigende udbytte af salgbare porrer (fejlfrø over 10 mm) fra 30 over 48 til 54 t pr. ha. Af figur 2 fremgår at en N-forsyning på 280 kg N pr. ha har resulteret i et udbytte af brugbare porrer på 51 t pr. ha. Optimal N-forsyning har således i 1988 været 220 kg N pr. ha. Forskellen mellem de 2 forfrugter er ikke statistisk sikker. Det øgede udbytte ved stigende N-forsyning er derimod statistisk sikker på 0.1 % niveau.

Stigende N-forsyning til hvidkål har øget udbyttet af brugbare hoveder (fejlfrø over 500 g), dog ikke med statistisk sikkerhed. Af figur 3 fremgår at hvor forfrugten har været vårbyg øges udbyttet fra 60 til 80 t pr. ha når N-forsyningen øges fra henholdsvis 160 til 320 kg N pr. ha. Forskellen mellem de 2 forfrugter er ikke statistisk sikker.



Figur 3. Effekten af forfrugt og N-forsyning på udbytte af brugbare hvidkål i t/ha.

Gødningsforbrug

Som det fremgår af figur 1 er maksimalt udbytte af gulerod opnået ved ikke at tilføre kvælstof hvis forfrugten har været vinterhvidkål. Ved en N-forsyning på 100 kg N pr. ha er der tilført 50 kg N pr. ha mere til planter hvor forfrugten har været vårbyg sammenlignet med planter hvor forfrugten har været vinterhvidkål (tabel 2).

Ved en optimal N-forsyning på 220 kg N pr. ha til porre er der tilført godt 40 kg N pr. ha mere til planter hvor forfrugten har været vårbyg sammenlignet med planter hvor forfrugten har været vinterhvidkål.

Af tabel 2 fremgår at såfremt forfrugten har været vårbyg er det nødvendigt at tilføre 100-110 kg N mere pr. ha til hvidkål, ved N-forsyninger på 240-400 kg N pr. ha, sammenlignet med hvidkål dyrket med forfrugt vinterhvidkål.

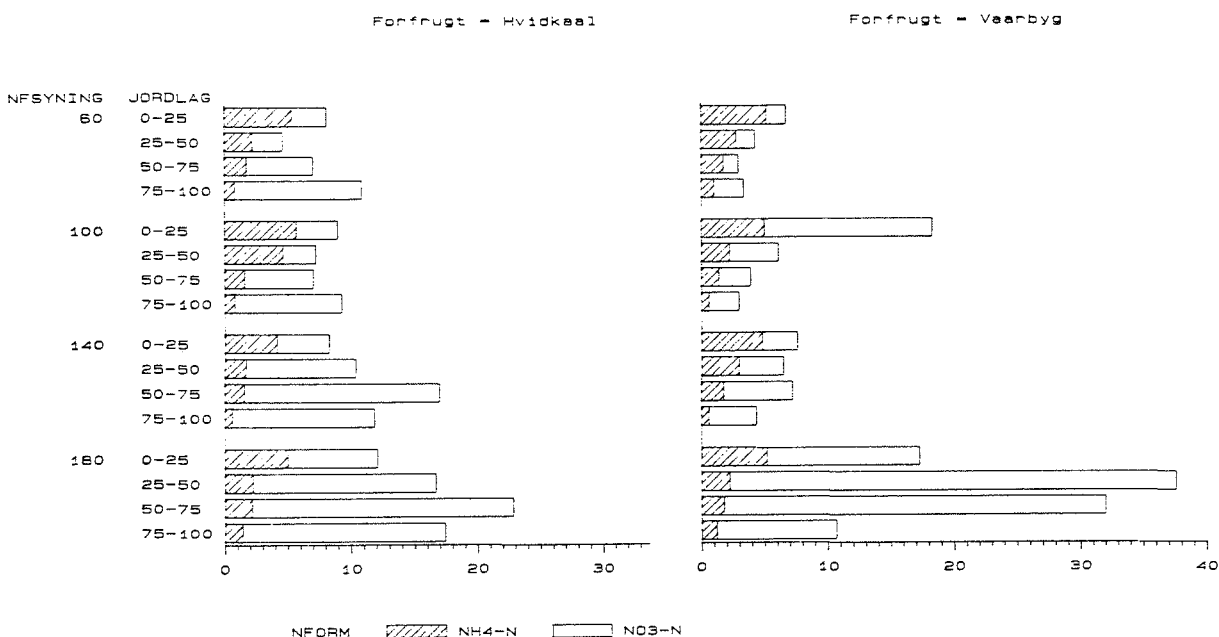
Tabel 2. De enkelte grønsagsafgrøders N-tilførsel i kg pr. ha ved vinterhvidkål og vårbyg som forfrugt og ved de forskellige N-forsyningsniveauer.

Afgrøde	N-forsyning kg/ha	N-tilførsel kg/ha	
		Vinterhvidkål	Vårbyg
Gulerod	60	0	27
	100	20	76
	140	69	110
	180	108	181
Porre	100	28	68
	160	104	158
	220	170	214
	280	242	274
Hvidkål	160	49	121
	240	107	205
	320	169	283
	400	240	350

Kvælstofrest

Ved stigende N-forsyning er der, gældende for gulerod og porre, stigende indhold af uorganisk kvælstof i jorden umiddelbart efter høst. Især er der betydelige N-mængder i jorden efter grønsagsafgrødernes største N-forsyningsniveau.

Som det fremgår af figur 4 er der efter gulerod, hvor forfrugten har været vinterhvidkål, efterladt 30 kg N pr. ha, ned til 1 m's dybde, ved en N-forsyning på 60 kg N pr. ha. Ved en N-forsyning på 180 kg N pr. ha er der efterladt 70 kg N pr. ha. Hvor forfrugten har været vårbyg er forskellen mellem en N-forsyning på 60 og 180 kg N pr. ha endnu større

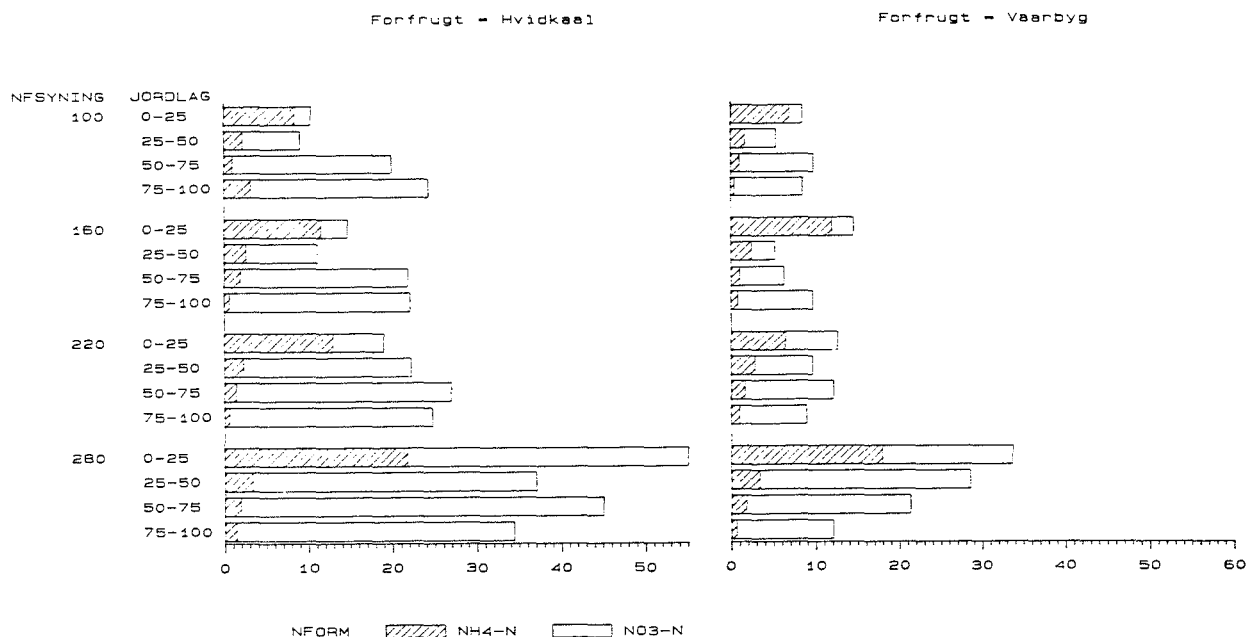


Figur 4. Effekten af forfrugt og N-forsyning på indholdet af N-min i jordlag á 25 cm efter høst af gulerod 1988.

idet den fundne N-rest, ned til 1 m's dybde, er henholdsvis 17 og 97 kg N pr. ha. Forskellen mellem N-forsyningsniveauerne er statistisk sikker. Mellem forfrugterne er der ikke statistisk sikker forskel på N-min-indholdet i 0-100 cm's dybde.

Af figur 4 fremgår endvidere at den største N-rest findes i de øverste jordlag hvor forfrugten har været vårbyg. Hvor forfrugten har været vinterhvidkål findes den største N-rest derimod i de nederste jordlag. Det er hovedsageligt nitrat-N, der påvirkes af de enkelte behandlinger, idet ammonium-N er forholdsvis upåvirket af forfrugt og N-forsyninger. Jordens indhold af ammonium-N aftager med jorddybden.

Efter porre er der en N-min-rest, i 0-100 cm's jorddybde, på 60 og 30 kg N pr. ha ved en N-forsyning på 100 kg N pr. ha ved henholdsvis vinterhvidkål og vårbyg som forfrugt. (figur 5). Ved en N-forsyning på 280 kg N pr. ha øges N-indholdet i jorden signifikant til 170 og 95 kg N pr. ha efter henholdsvis vinterhvidkål og vårbyg. Indholdet af N-min i jorden efter porre, hvor forfrugten har været vinterhvidkål, er signifikant større end N-min-indholdet i jorden, hvor forfrugten har været vårbyg.

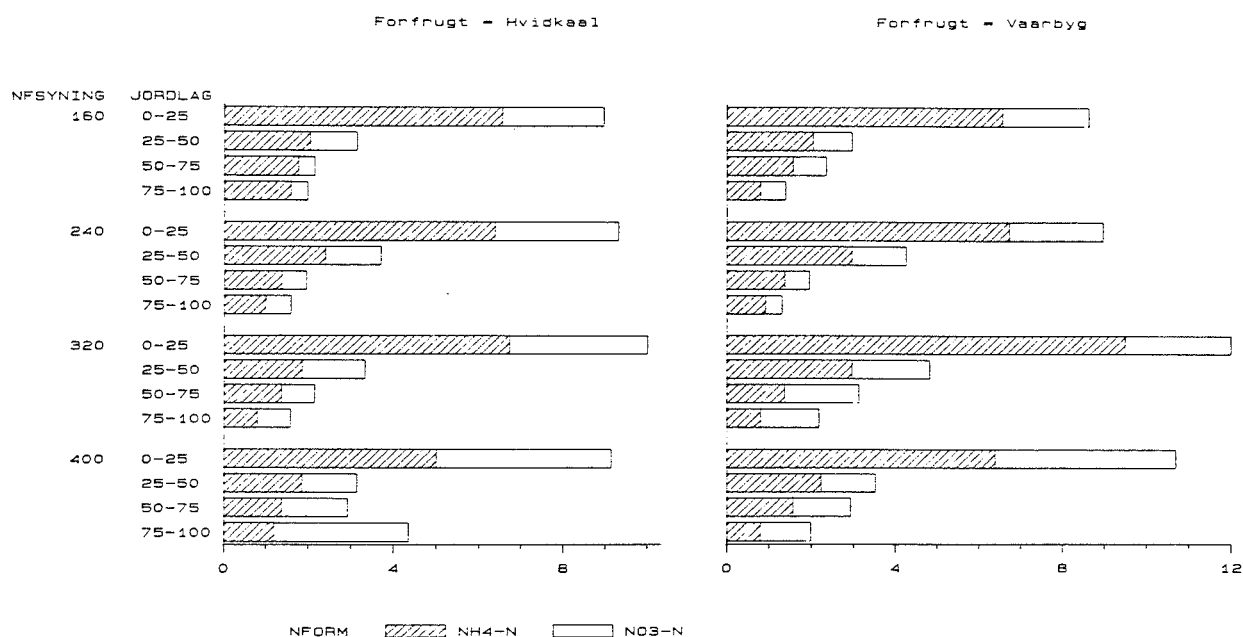


Figur 5. Effekten af forfrugt og N-forsyning på indholdet af N-min i jordlag á 25 cm efter høst af porre 1988.

Som for gulerod er der efter porre forholdsvis store N-mængder i de øvre jordlag hvor forfrugten har været vårbyg og forholdsvis store N-min-mængder i de nederste jordlag hvor forfrugten har været vinterhvidkål. Af figur 5 ses endvidere at ammonium-N aftager med jorddybden og at der i de øverste jordlag findes meget lidt nitrat-N ved de lave N-forsyningsniveauer.

Hverken forfrugten eller N-forsyningen har signifikant påvirket indholdet af uorganisk kvælstof, ned til 1 m's dybde, efter hvidkål. Af figur 6 ses at ved N-forsyninger på 160 og 240 kg N pr. ha findes et N-min-indhold på 15-16 kg N pr. ha. Ved N-forsyninger på 320 og 400 kg N pr. ha øges N-min-indholdet til 17-22 kg N pr. ha.

Indholdet af ammonium-N i jorden efter hvidkål ligger på samme niveau, som for gulerod og porre. Indholdet af både nitrat-N og ammonium-N er størst i det øverste jordlag og aftager med jorddybden.



Figur 6. Effekten af forfrugt og N-forsyning på indholdet af N-min i jordlag á 25 cm efter høst af hvidkål, 1988.

D i s k u s s i o n o g k o n k l u s i o n

Under vesttyske dyrkningsforhold er den optimale N-forsyning under væksten af gulerod, porre og sen hvidkål fastlagt til henholdsvis 160, 210 og 260 kg N pr. ha. Jordprøver til bestemmelse af N-min-mængden udtages ned til henholdsvis 60, 60 og 90 cm's dybde for de 3 afgrøder (Lorenz et al., 1986, Scharpf og Weier, 1988). Resultaterne i nærværende førsteårsundersøgelse afviger ikke væsentligt fra de i vesttyskland fundne normtal for optimal N-forsyning af porre og sen hvidkål. For gulerod blev der dog fundet en betydelig lavere værdi for optimal N-forsyning, set i forhold til det tyske normtal.

Udbyttet af brugbare høstprodukter er ikke signifikant påvirket af forfrugten. Specielt i forsøget med porre er der opnået samme udbytte efter vinterhvidkål som efter vårbyg ved de enkelte N-forsyningsniveauer. At der ikke er nogen effekt af forfrugten er positivt, idet gødskning efter N-min-metoden netop tager højde herfor.

Efter høst af gulerod og porre efterlades stigende mængder af uorganisk N i jorden ned til 1 m's dybde ved stigende N-forsyning. Især har en N-forsyning på 180 og 280 kg pr. ha til henholdsvis gulerod og porre resulteret i en stor N-rest. Ovennævnte N-forsyninger ligger over såvel de vesttyske normtal som de i nærværende forsøg fundne optimale værdier. Gulerod og porre har ganske enkelt ikke kunnet optage alt den tilførte kvælstof.

Efter høst af porre efterlades forholdsvis store mængder

uorganisk kvælstof i jorden ned til 1 m's dybde. Ved en N-forsyning på 220 kg N pr. ha findes en N-rest på 90 og 40 kg N pr. ha ved henholdsvis vinterhvidkål og vårbyg. Forholdsvis meget af den fundne N-rest ligger i de nedre jordlag. Efter høst af sen hvidkål findes derimod betydeligt mindre mængder af uorganisk N, 20 kg pr. ha, i jorden ned til 1 m's dybde. Hovedparten af den fundne N-rest ligger i de øvre jordlag. Denne forskel mellem porre og hvidkål skyldes sandsynligvis at hvidkål er betydeligt bedre til at udnytte eller opsamle den i roddybden tilstedeværende kvælstof.

Fordeelingen af N-min mellem jordlagene er, især efter gulerod og porre, påvirket af forfrugten. Forholdsvis store mængder af uorganisk kvælstof findes i de øvre jordlag hvor forfrugten har været vårbyg. Hvor forfrugten har været vinterhvidkål findes de største mængder af N-min i de nedre jordlag. Grunden til denne forskel er sandsynligvis at der efter forfrugt vinterhvidkål er nedvasket større mængder N i vinter- og forårsmånederne end hvor forfrugten har været vårbyg. At der findes forholdsvis meget N-min i 75-100 cm's dybde skyldes formodentligt at gulerod og porre ikke har så stor en roddybde.

Forsøgene i 1988 har vist at det er vigtigt at tage hensyn til forfrugten, herunder også mineralisering af denne i vækstperioden, ved udarbejdelse af gødningsplaner. Ved optimal N-forsyning er der, hvor forfrugten har været vinterhvidkål, tilført 50, 40 og 110 kg N pr. ha mindre til henholdsvis gulerod, porre og sen hvidkål, sammenlignet med hvor forfrugten har været vårbyg.

R e f e r e n c e r

- Anonym (1989): Gødskning efter N-min-metoden. Pjece udarbejdet af Landskontoret for Planteavl, Landbrugets Rådgivningscenter, 10 sider.
- Borst N.P. og Mulder C. (1971): Stikstofgehalte, stikstofbemesting en opbrengst van wintertarwe op zeezand-, kleien zavelgronden in Noord-Holland. Bedrijfsontwikkeling 2: 31-36.
- Lorenz H.-P., Schlaghecken J., Engl G., Blötz M., Boy E. og Lang C. (1986): Gezielte Stickstoff-Versorgung im Gemüsebau nach dem "Kulturbegleitenden Nmin Sollwerte (KNS)-System". Neustadter Hefte, Heft 26, Landes-, Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau, Neustadt and der Weinstrasse.
- Ris J. (1974): Stikstofbestedingsadviezen voor bouwland. Stikstof 7: 168-173.
- Scharpf H.C. og Weier V. (1988): Abgestimte Sollwerte für die Stickstoffdüngung. Gemüse 24(1): 4-5.
- Scharpf H.C. og Wehrmann J. (1975): Die bedeutung des Mineralstickstoffvorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen. Landw. Forsch. Sonderheft 32: 100-114, Kongressband.
- Sørensen J.N. (1988): Optimal forsyning med kvælstof efter N-min metoden. Grønne Fag 7(11): 3-5.
- Wehrmann J. og Scharpf H.C. (1979): Der Mineralstickstoffgehalt des bodens als Massstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N-min-Metode). Plant and Soil 52: 109-126.

Försöksledare
Margareta Magnusson
Försöksavd.f.norrl.trädgårdsodling
Röbäcksdalen, box 5097
S-900 05 Umeå

BALANSRÄKNING AV VÄXTNÄRINGSTILLFÖRSELN TILL FRILANDSGRÖNSAKER.

I n l e d n i n g

Vi har de senaste decennierna levat i en situation av överflöd av växtnäring. Varken praktiska eller ekonomiska begränsningar har hindrat oss från att gödsla grönsakerna överoptimalt. De flesta gödslingsförsök har inriktats på frågeställningar av typen:

* Hur mycket kan jag öka skörden med högre gödslingsgivor utan att kvaliteten försämras allvarligt?

Idag har den motsatta strategin börjat gälla:

* Hur mycket kan jag minska gödslingsgivorna utan att försämma odlingsresultatet?

Mycket tyder på att det i många fall skulle gå att sänka gödselgivorna betydligt utan att försämma odlingsresultatet, förutsatt att tidpunkt, placering och form av gödselmedel anpassas bättre efter grödans behov än vad som idag är praxis.

K o n c e n t r a t i o n e r - ö v e r f l ö d

Som prognosmetoder för att avgöra om grödorna har tillfredställande tillgång till växtnäring har vi främst inriktat oss på att mäta koncentrationer; i markvätskan och i växten. Det är metoder som kräver mycket kunskap och erfarenhet för att utvärderingen ska vara användbar i praktisk odling.

En analys av markvätskans växtnäringskoncentration säger t.ex. bara hur det ser ut just i det ögonblick vi tar analysen. Den säger ingenting om vilka flöden som sker i systemet mark växt.

Bakom samma koncentration kan dölja sig olika växtnäringssituationer bland annat beroende på markens förmåga att lagra och frigöra växtnäring. En låg koncentration av ett växtnäringsämne i markvätskan kan t.ex. betyda tillfredställande frigörande av växtnäring ur jorden i kombination med snabb upptagning i grödan och behöver inte indikera en bristsituation.

Jordanalyser har naturligtvis ett stort värde, men då främst i form av regelbundna analyser för att följa trender, och insätta i ett sammanhang där man har möjlighet att succesivt förbättra tolkningen av sambanden mellan analysvärden och grödornas utveckling.

För att växtanalyser ska kunna användas för prognos behöver vi ha tillförlitliga referenser som i princip kan ge svaret

på frågan: Vilken koncentration av ett visst näringsämne, i en viss växtedel, vid en viss tidpunkt, leder till högsta möjliga skörd och kvalitet för varje enskild kultur? Tyvärr har många av de studier som finns beskrivna i något äldre litteratur inte utförts under tillräckligt väl definierade förhållanden för att vara användbara idag (Magnusson 1982). Sannolikt krävs stora forskningsinsatser innan den typen av analyser blir användbara i praktisk odling. Man kan sätta ett frågetecken för om det är här vi skall sätta in de stora resurserna eller om det kan finnas enklare vägar som bättre svarar mot dagens inställning till växtnäringsfrågor.

Överhuvudtaget tycks koncentrationstänkandet hänga nära ihop med överflödet. Det bortser i stort sett både ifrån hur mycket som tillförs och hur mycket som går förlorat. Marginalerna blir med nödvändighet stora särskilt som vi strävat efter att generalisera utvärderingen av analyser och gödslingsrekommendationer. Man kan inte heller säga att det underlättat för odlaren att förstå växtnäringssituationen på just hans jord, eftersom den alltid är unik och sällan motsvarar de genomsnittsförhållanden som standard-rekommendationerna utgår ifrån.

Med överflödssituationen har också följt att man betraktat jorden även i frilandskulturer ungefär som ett substrat i växthusodling dvs utan egen förmåga att leverera växtnäring. Däremot har man i gödslingsrekommendationerna kompenserat frikostigt för urlakning och fastläggning. De gödslingsrekommendationer som tillämpats i Norden de senaste decennierna har i genomsnitt inneburit att man tillfört dubbelt så mycket kväve och kalium och fyra gånger så mycket fosfor som bortförs med skörd (Magnusson 1987).

M ä n g d e r - b e g r ä n s n i n g a r - b a l a n s e r

För att veta mera om vilka ramar vi arbetar inom är det intressant att titta på vilka mängder av olika växtnäringsämnen som är i omlopp, och vart de tar vägen. dvs göra upp en form av balansräkning.

Balansräkningen för ett fält i en enskild odling kan se ut så här:

* Vilka mängder av olika växtnäringsämnen har tillförts med gödsling de senaste åren?

* Vilka mängder av olika växtnäringsämnen har bortförts med skörd de senaste åren?

* Hur har jordens näringstillstånd förändrats de senaste åren? (jordanalyser, bristsymptom, skörderesultat m.m.)

* Hur ser jordens näringshållande förmåga ut? (jordart, multhalt m.m.)

* Vilka grödor planeras komma på säsongs och vilka skördar kan förväntas?

* Vilka mängder av olika växtnäringsämnen beräknas bortföras med dessa skördar, och vilka mängder behöver totalt finnas tillgängliga under säsongen? (skörd+skörderester)

Med utgångspunkt från detta får man en uppfattning om vilka marginaler man arbetat med hittills, om man byggt upp förråd av något ämne, och/eller tärt på något förråd. Detta kan man sätta i relation till odlingsresultatet. Så gör man en bedömning av hur stora marginaler man vill arbeta med under den aktuella säsongen och kombinerar lämpliga gödselmedel.

Vartefter vi samlar erfarenheter kan de här bedömningarna förbättras och näringstillståndet i jorden kan följas upp med årlig linjekartering.

En av förutsättningarna för dessa balansräkningar är tillförlitliga värden för växtnäringsinnehållet i köksväxter. De uppgifter som finns i litteraturen om innehåll av växtnäring i skördad produkt varierar ofta och är sällan satta i relation till hur god tillgång till växtnäring grödan haft. Uppgifter om innehållet av växtnäring i skörderester förekommer mera sparsamt, och uppvisar ännu större variation, vilket kanske är naturligt med tanke på att vilka växtdelar som kvarlämnas på fältet beror av skörderutiner. Rötternas innehåll av växtnäring är mycket lite undersökt och man försöker sällan ens skatta mängden rötter i förhållande till ovanjordiska växtdelar.

Det är en angelägen uppgift för forskning och försök att ta fram uppgifter om växtnäringsinnehåll i skörd och skörderester under kontrollerade växtnäringsförhållanden.

T i l l v ä x t o c h n ä r i n g s u p p t a g n i n g

En viktig metod att minska växtnäringsförlusterna är att dela upp gödslingsgivorna i tiden. Tyvärr saknas i stort sett uppgifter om hur näringsupptagningen är fördelad under säsongen i de olika köksväxtslagen, dvs:

* vilka mängder av ett växtnäringsämne som tas upp av en viss gröda per tidsenhet.

Sommaren 1988 gjordes på Röbäcksdalen en första orienterande undersökning av tillväxt och näringsupptagning i isbergssallat. I ett större försök med odling på bädd, olika gödslings och marktäckning, valdes ett försöksled ut för noggrannare uppföljning. Försöksledet innebar: odling på bädd utan marktäckning, grundgödsling med 20 ton/ha fastgödsel nöt. Ingen övergödsling.

Jordarten där försöket låg var en mullrik lerig mjällig mo, med pH 6.9, K-Al klass IV, P-Al klass IV-V, och en kvot K/Mg på 3.5.

Analysvärden för fastgödseln var: totalkväve 0.49%, NH₄-N 0.21%, fosfor 0.11% och kalium 0.30%.

Plantprover togs ut var 7:e dag (10 plantor/parcell, 4 upprepningar), för bestämning av friskvikt och torrsubstanshalt. Resultatet har givit tillväxtkurvan i figur 1. De torkade proverna analyserades sedan på totalinnehåll av växtnäringsämnen. Resultaten redovisas dels som upptag/planta, figur 2, och dels som upptag/ha, figur 3. Upptag per hektar har beräknats utifrån medelvikt/planta samt en planttäthet på 75 000 pl/ha.

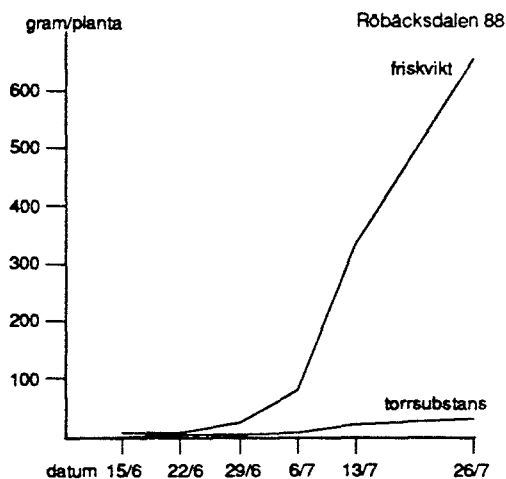


Fig 1
Tillväxtkurva för friskvikt och torrsubstans från plantering till skörd i Isbergssallat. Värdena avser hela den ovanjordiska plantdelen, medelvärden från 40 plantor. Bädd, 20 ton fastgödsel

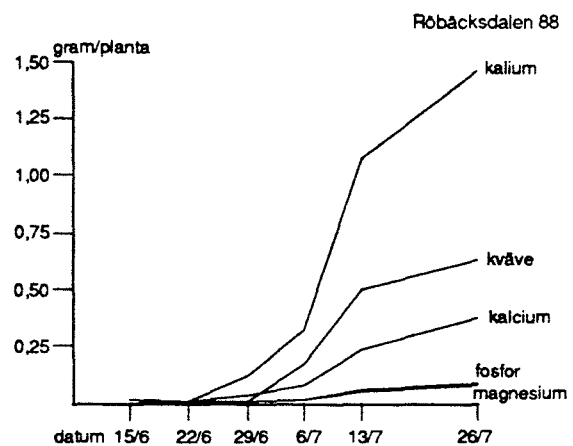


Fig 2
Ackumulerad näringsupptagning i Isbergssallat. Medelvärden från 40 plantor. Värdena avser hela den ovanjordiska plantan. Bädd, 20 ton fastgödsel

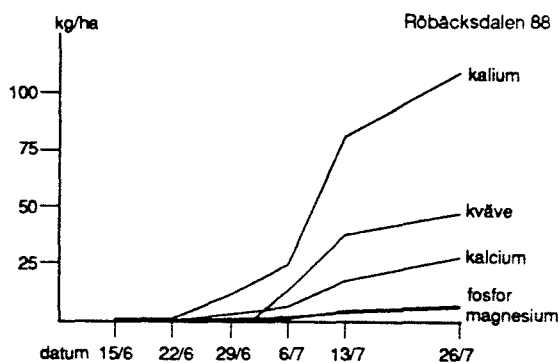


Fig 3
Ackumulerad näringsupptagning i Isbergssallat uttryckt som kg växtnäringsämne/ha. Bädd, 20 ton fastgödsel.

(Originalen till figurerna är gjorda av tidskriften HORTICA och först publicerade i HORTICA 1989:5)

Kurvornas utseende visar att det är ganska sent på säsongen som den större delen av näringsupptagningen skett. Hur stora förändringar man får i kurvornas utseende vid olika riklig tillgång till växtnäring studeras i år i blomkål och isbergssallat.

I tabell 1 redovisas tillförsel och upptag av kväve, fosfor och kalium. För fastgödsel brukar man för svenska förhållanden räkna med att ca 30% av totalkvävet blir tillgängligt under första säsongen. I det här fallet var halten ammoniumkväve så stor att man sannolikt fått något högre andel tillgängligt kväve.

	kg växtnäringsämne/ha		
	N	P	K
tillförsel:			
20 ton fastg.nöt	30-50	22	60
upptag:			
48 ton isbergssallat	49	6.8	110
(hela ovanjordiska plantan)			

Tabell 1. Tillförsel och upptag av växtnäringsämnena i isbergssallat. Bädd, 20 ton fastgödsel/ha. Rönnebo -88.

I övriga 17 försöksled som ingick i samma försök togs kväveanalyser i de ovanjordiska plantdelarna i samband med skörd. För att visa hur stor variationen i kväveupptagningen varit har i tabell 2 och 3 sammanställts uppgifter för hela försöket. Variationerna i upptag per ha beror i det här fallet främst på skördenivån och inte på några stora variationer i kväveinnehåll per ton friskvikt. Mängd tillfört kväve i de olika gödslingarna uppskattas till:

gödsling 1: 10 ton fastgödsel : 15-25 kg N/ha
 2: 20 " " : 30-50
 3: 20 ton flytgödsel : 25-50

behandling	upptag av kväve, kg/ha		
	göds1.1	göds1.2	göds1.3
A plan mark	40	33	45
B bädd	40	49	44
C bädd+svart plast	57	62	51
D bädd+gräs direkt	37	44	40
E bädd+gräs senare	36	42	42
F bädd+pappersull	31	40	34

Tabell 2. Upptag av kväve i ovanjordiska plantdelar av isbergssallat vid skörd. Rönnebo -88.

upptag av kväve, kg/10 ton skörd

behandling	göds1.1	göds1.2	göds1.3
A plan mark	9.3	8.9	10.1
B bädd	8.9	9.6	9.0
C bädd+svart plast	9.4	9.7	8.4
D bädd+gräs direkt	8.9	9.5	8.4
E bädd+gräs senare	8.5	10.2	9.6
F bädd+pappersull	8.3	9.2	8.7

Tabell 3. Upptag av kväve i ovanjordiska plantdelar av isbergssallat vid skörd, uttryckt som kg N/10 ton friskvikt. Rönneåsdalen -88.

P r o g n o s m o d e l l e r

Inom bland annat jordbruket arbetar man numera mycket med prognosmodeller för tillväxt, skörd och kvalitet. Det sättet att arbeta borde vara mycket användbart även när det gäller att förstå och förklara köksväxternas tillväxt, näringsupptagning och deras samspel med vädret.

Dessa kunskaper kan sedan bland annat användas för att bedöma både det totala gödslingsbehovet och hur fördelningen under säsongen bäst ska ske.

L i t t e r a t u r

Magnusson M, 1982. Växtanalys. Seminarieuppgift SLU, Alnarp stencil 21 sidor.

Hultin E, 1988. Köksväxternas behov av växtnäring. Ett underlag för diskussion om gödsling av frilandsodlade grönsaker. Examensarbete SLU inst. f. markvetenskap, avd. f. växtnäringslära, 52 sidor.

Magnusson M, 1987. Översyn av gödslingsrekommendationer för frilandsodlade grönsaker. SLU försöksavdelningen för norrländsk trädgårdsodling, Rönneåsdalen, stencil 60 sidor.

Hans Stabbetorp
Apelsvoll forskingsstasjon

DELT GJØDSLING OG TILLEGGSGJØDSLING TIL KORN.
AVLING, KVALITET OG AVRENNING

Gjødslingsbehovet til korn har blitt meget godt undersøkt gjennom tidene. Nye stråstive sorter og ny dyrkningsteknikk har ført til store forandringer i behovet for nitrogen. I 1965 var anbefalte N-mengder til ensidig korn omkring 60-70 kg N, i dag er det ikke uvanlig med den dobbelte mengden. Behovet for fosfor og kalium har endret seg mindre, og med dagens gjødselsortiment er det lite aktuelt med deling av disse stoffene.

Når det er tale om delt gjødsling til korn tenker en derfor i første rekke på deling av nitrogenet. Det kan være ulik bakgrunn og formål ved deling av N-gjødsel, og innledningsvis kan det være nyttig med klargjøring av noen begreper.

I korn har det vært mest vanlig med "engangsgjødsling", og hele gjødselmengden er blitt gitt i forbindelse med såingen om våren eller ved vekststart om våren for høstkornet sin del.

"Tilleggsjødsling" blir gitt utover i veksttiden hvis en finner ut at vårgjødslinga har vært for liten eller særlig når ugunstige vekstforhold, avrenning eller noe annet gjør det påkrevd med ekstra nitrogengjødsling. Slik gjødsling er ikke planlagt fra våren.

"Delt gjødsling" er planlagt fra våren. Ved vårgjødslinga tar en hensyn til at en vil gi gjødseltilskudd utover i veksttiden for å minske risikoen for avrenning, for å bedre kvaliteten eller for å prøve å oppnå en riktigere tilpassing av gjødselmengdene.

I tidlige norske forsøk med kalksalpeter til korn ble kornavlingen ofte litt større når hele eller en del av nitrogenmengden ble gitt i veksttida sammenlignet med gjødsling før såing. Gjødselmengdene i disse forsøkene var små. Lyngstad (1965) konkluderte med at det ikke førte til nevneverdig forskjell i kornavling om hele eller en del av nitrogenet i form av kalksalpeter ble gitt 2-3 uker etter oppspiring sammenlignet med gjødsling før såing. Forsøkene ble utført omkring 1960, og N-mengdene var fra 23 til 70 kg N. Det bør også

nevnes at en i det ekstreme tørkeåret 1959 fikk like god virkning av kalksalpeter spredd i veksttida som når den ble nedmoldet før såing.

I slutten av 60-årene kom radgjødslingen som ga relativt store meravlinger i forhold til breigjødsling, og dette har ført til at engangsgjødsling om våren er blitt nokså enerådende til korn i Norge. Flere forhold ved dagens dyrkningsteknikk peker i retning av at en nå i større grad bør dele nitrogen-gjødslinga til korn. Faktorer som store N-mengder, tidlig såing, effektive midler mot sopp og skadedyr, større vekt på kvalitet og miljø går i retning av delt gjødsling.

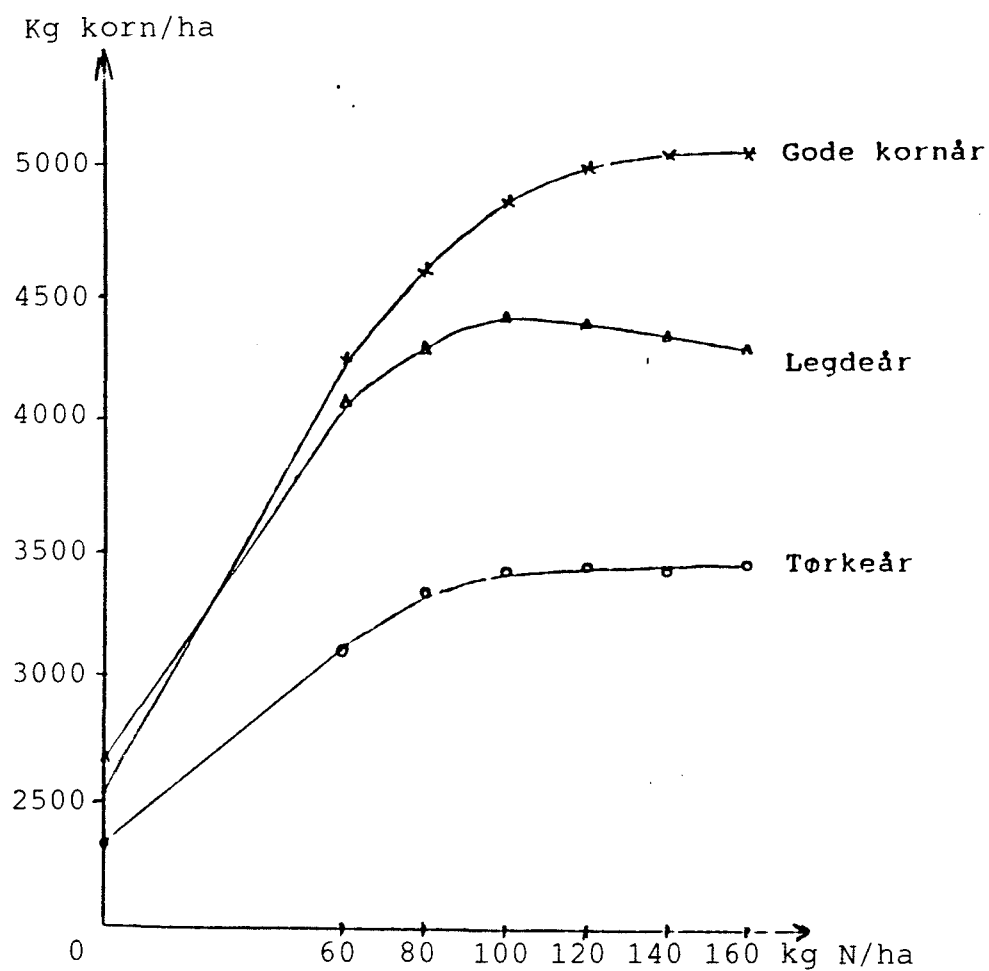
Stigende mengder nitrogen om våren 1974-84

Middelresultatene fra en større serie med stigende N-mengder til korn på Østlandet er gjengitt i tabell 1. Kalksalpeter ble her breigjødslet før såing. Det var hovedsaklig bygg og havre i forsøkene, og den største delen lå på gårder med relativt ensidig korndyrking.

Avlingene uten N-gjødsling har variert lite med årene, mens avlingsøkningen for stigende N-mengder har vist store forskjeller for ulike årganger. Det går tydelig fram av figur 1 hvor en har skilt mellom tørkeår, legdeår og gode kornår. Tørkeårene har de minste avlingene og også minst utslag for gjødsling. Ved bruk av store N-mengder er det klart at det i korndyrkinga vil være igjen relativt store restmengder av nitrogen om høsten i tørkeår, og dette nitrogenet er utsatt for avrenning. Selv om det er få år med så lite nedbør på forsommeren som -75 og -76, finner en ved gjennomgang av den meteorologiske statistikken for Østlandet at en har sterke tørkeperioder på forsommeren i ca 20-25% av årene.

Tabell 1. Avling, proteininnhold, N-innhold og N-utnyttelse.
Middel 217 forsøk i 1974-84.

Kg N pr.ha	Kg korn 15% vann	% protein i tørrst.	% N i tørrst.	Kg N i kornavl.	% N korn/ N gjød.
0	2540	10,5	1,68	36	
60	4000	10,4	1,67	57	95
80	4290	10,9	1,75	64	80
100	4490	11,5	1,84	70	70
120	4550	12,3	1,96	76	63
140	4560	12,9	2,06	80	57
160	4570	13,4	2,15	84	53
Ant.forsøk	217	136	136		



Figur 1. Avlingskurver for "tørkeår" (75-76), "legdeår" (79-80-81) og "gode kornår" (74-77-78-82-83-84)

I legdeårene legger en merke til at en i middel har avlingsnedgang for de største N-mengdene. Det understrekes at også for de gode kornårene er kurven flat for de største mengdene. Årene -74 og -84 skiller seg noe ut med klar lønnsom avlingsøkning til 14 kg N og en liten økning også for siste N-trinn.

Gjødselmengden har stor betydning for proteininnholdet. En har jamn økning i N-innholdet opp til største N-mengde. Forholdet mellom N i kornavlingene og N gitt i gjødsla kan brukes som et mål for utnyttelsen. Dette er selv sagt ikke helt korrekt. Nitrogenet i halmavlingene er ikke med, og det skjer forandringer i det organiske materialet, biomassen, i jorda. Ved sterk gjødsling vil en bygge opp biomasse, mens en ved 0-gjødsling eller ved svak gjødsling vil tære på det organiske materialet. Utslagene vil derfor være mindre enn det tallene i siste kolonne viser, men ved sterk gjødsling vil utnyttelsen normalt bli dårligere. Det vil være mere mineralnitrogen igjen, og dette nitrogenet kan være utsatt for avrenning. Nitrogenet i en del av biomassen vil også kunne mineraliseres utover høsten. På den annen side vil halmen og N-fattige planterester kunne binde mineralnitrogen under omsetningen. Utnyttelsen av det tilførte nitrogenet vil være vesentlig dårligere i et tørkeår enn i et godt kornår. Det gjelder ikke bare ved sterk gjødsling, men også ved svak og moderat gjødsling.

Tilleggs-gjødsling

Vi har i det siste hatt flere år med relativt mye nedbør på forsommeren og gulning, særlig i bygg. I -83 og i både -86 og -87 hadde en slike forhold flere steder på Østlandet. I tabell 2 er resultatene fra forsøk med 200 og 400 kg kalksalpeter som tilleggsgjødsling gjengitt.

I 1983 ble tilleggsgjødslingen utført i begynnelsen av juni, i 86 og 87 vesentlig seinere og henimot slutten av juni. Avlingsøkningene er store og sikre, og det er liten tvil om at det er god økonomi i ekstra nitrogen under slike ugunstige forhold. Selv om det ikke er direkte mangel på N, vil en ved slik gjødsling kunne hjelpe plantene over en vanskelig periode og få større avlinger med langt høyere proteininnhold. En har derfor ofte meget god utnyttelse av gjødsla ved tilleggsgjøds-

ling under slike forhold. Slik gjødsling vil derfor ikke nødvendigvis føre til større fare for forurensing da en får en stor del igjen i avlingene.

Tabell 2. Tilleggsgjødsling i vekstsesongen med 200 og 400 kg kalksalpeter. 32 forsøk i 83, 86 og 87.

Kg N	% vann	Kg korn/ha 15% vann	% protein	Kg N i kornavling
0	21,0	3420	11,3	53
31	21,4	3880	12,2	64
62	22,1	4180	13,1	75

Delt gjødsling til hvete

I årene 1984-86 ble det gjennomført en stor forsøksserie (forsøksavd. i Statens Kornforretning i samarbeid med Apelsvoll) med delt gjødsling etter følgende plan:

- A. Grunnjødsling (vertens vanlige gjødsling minus 20 kg N)
- B. + 40 kg N i kalksalpeter ved såing
- C. + 40 kg N i urea ved såing
- D. + 20 kg N i urea, bladgjødsling ved skyting
- E. + 40 kg N i urea, bladgjødsling ved skyting
- F. + 20 kg N i urea, bladgjødsling når åkeren er 15-20 cm
+ 20 kg N ved skyting blomstring
- G. + 40 kg N i kalksalpeter utstrødd ved skyting
- H. + 40 kg N i urea utstrødd ved skyting

De viktigste resultatene fra serien er gjengitt i tabell 3. For å fastslå effekten av delt N-gjødsling, er det riktig å sammenligne forsøksleddene B og C mot D, E, F, G og H. Disse leddene med unntak av D har fått samme N-mengde. Ledd D har fått 20 kg mindre. Ved å sammenligne ledd A mot de øvrige leddene, vil en få svar på effekten av tilleggsgjødsling med N.

Tabell 3. Sammendrag fra forsøkene med delt gjødsling til hvete 1984-86.

Ledd	Kg korn pr. ha	% vann	% Legde	% protein	Brød- volum	1000- kornvekt	Kg N i kornavling
A	5730	22,7	32	11,9	541	39,1	101
B	5930	24,0	45	13,0	571	39,2	114
C	5970	23,8	43	12,8	569	39,2	113
D	5880	23,0	35	12,4	554	39,9	108
E	5940	23,3	36	12,9	568	39,9	113
F	5990	23,5	40	12,7	569	40,1	113
G	6100	23,2	35	13,4	589	40,4	121
H	6030	23,5	39	13,4	583	40,5	119
Ant.felt	40	40	14	31	31	40	31

Avling

Delt gjødsling med utstrøing av kalksalpeter eller urea ved skyting har gitt noe bedre resultat enn om all gjødsla ble gitt om våren (G, H mot B, C). Bladgjødsling med urea har gitt noe dårligere resultat. I flere forsøk fikk en sviskade av bladgjødsling med så store mengder som 40 kg N. Ved bladgjødsling kan vi derfor ikke tilrå mer enn maks. 20-30 kg N i urea pr. hektar (40-60 kg urea/ha). Hvis en vil blande urea med eventuell sopp/insektsprøyting må disse mengdene reduseres til det halve, 10-15 kg N i urea. Bladgjødsling/utstrøing ved skyting vil medføre kjørespor i åkeren, og det er vanlig å regne at disse tilsvarer 150 kg korn pr. hektar. Dette er ikke med i avlingstallene. Ofte er det nødvendig med kjøring i åkeren for å sprøyte mot sopp og/eller skadedyr. Da vil det være riktig å belaste delgjødslingen med halvparten av kjøresporene.

Modning og legde

Økte N-mengder har som vanlig gitt utsatt modning. Ser en på de leddene som har fått like store N-mengder, legger en merke til at delt gjødsling ikke har ført til utsettelse av

modningen. Ledd G og H har lavere vanninnhold ved høsting enn B og C.

Det er 14 av forsøkene som har hatt legde av betydning. Her ser vi at delt gjødsling har gitt mindre legde enn om all gjødsla ble gitt om våren. Mindre legde kan også ha virket noe på vanninnhold ved høsting.

Når vi reduserer gjødslingen med 20-40 kg N om våren vil vi få noe mindre vegetativ vekst, og plantebestandet blir luftigere. Vi får en annen struktur i åkeren. Dette kan føre til at eventuelle angrep av bladsjukdommer blir mindre.

Protein og bakekvalitet

Ved en tilstrekkelig økning av N-mengdene om våren, vil plantene sikres god tilgang på N gjennom hele vekstsesongen. På denne måten vil proteininnholdet i kornet øke. I år med gode vekstvilkår vil imidlertid faren for legde øke betydelig. I år med dårlig vekst og små avlinger vil nitrogenet bli dårlig utnyttet. En kraftig økning av N-gjødslingen om våren er derfor en svært lite aktuell måte å heve proteininnholdet i kornet på. En slik løsning vil være lite lønnsom for den enkelte bruker, og faren vil være stor for N-avrenning til miljøet omkring.

Deling av gjødsla og utstrøing ved skyting har gitt 0,5% høyere proteininnhold enn om all gjødsla ble gitt om våren. Disse leddene har også gitt det største brødvolumet og best bakekvalitet. Som regel er det en nær sammenheng mellom proteininnhold og brødvolum. Den prisgradering etter proteininnhold som er lagt opp av Statens Kornforretning, vil gjøre det lønnsomt å dele gjødsla til hvete i Norge.

1000-kornvekt og hl-vekt

Også her kommer leddene med den delte gjødslingen best ut (G og H). Store og godt fylte korn har betydning for maleutbyttet, hvor mye mjøl vi får ut av kornet. Det kan være flere årsaker til bedre mating. Åkeren har en annen struktur, og mindre legde, mindre sjukdommer antas å være hovedårsaken til større korn.

Kg N i kornavlingene

I denne serien har vi tatt store avlinger, og utnyttelsen av nitrogenet er meget god. Vi har nesten tatt bort like mye N i avlingene som det vi har tilført. Den midlere gjødslingen på ledd A var 116 kg N. Det er den totale gjødselstyrken som har mest å si for N-innhold i avling og i jord etter høsting. Forskjellen mellom leddene fra B til H er mye mindre. I og med at både avlingen er størst og proteininnholdet høyest på ledd G og H så er det klart at vi har tatt bort mest nitrogen med avlingene på disse leddene.

På en del av forsøkene er det tatt jordprøver for analyse av mineralnitrogen i jorda etter høsting på de ulike ledd. En har ikke kunnet påvise større mengder lettløselig nitrogen i jorda ved sein delgjødsling enn om all gjødsla ble gitt om våren. I disse årene må en derfor kunne slå fast at deling av gjødsla må ha ført til noe mindre avrenning av nitrogen. Risikoen for avrenning av N er større når hele mengden blir gitt om våren, særlig på lett jord og med mye regn på forsommeren. Delt gjødsling vil derfor både høyne proteininnholdet og minske risikoen for avrenning.

Tidspunkt for gjødslingen

I en større serie startet ved Apelsvoll i 1984 har en utført den delte gjødslingen til ulike tider. I de fleste forsøkene er det gitt en grunngjødsling om våren på 60-80 kg N (40-60 kg N mindre enn det verten regnet som normal gjødsling). Som tillegg til denne grunngjødslingen ble det gjødslet etter følgende plan:

Vårgjødsling: 0-30-60 kg N/ha gitt i kalks. ved såing
Tidlig delgjødsling: 0-30 kg N i kalks./ha (2 uker etter spiring)
Sein delgjødsling: 0-30 kg N i kalks./ha (4-5 uker etter spiring)

Tabell 4. Arlige kornavlinger 84-87 og middel. Hovedeffekter og samspill.

Ledd	Kg korn/ha 15% vann				Middel 84-87	%	%	Kg N
	84	85	86	87				
						legde	pro- tein	i korn- avling
<u>Vårgj.</u>								
Grunngj.	4930	4340	4890	4820	4750	19	11,1	75
+30 kg N	5190	4450	5360	4930	4980	29	11,6	82
+60 " "	5380	4550	5530	5020	5120	39	12,3	89
LSD 5%	17	20	23	25				
<u>Tidlig delgjød.</u>								
0 kg N	5060	4460	5100	4860	4870	24	11,3	78
30 " "	5280	4430	5420	4990	5030	34	12,0	86
LSD 5%	8	12	17	20				
<u>Sein delgjød.</u>								
0 kg N	5010	4350	5100	4730	4800	25	11,2	76
30 " "	5330	4530	5410	5110	5100	33	12,1	88
LSD 5%	15	12	17	25				
<u>Samspill</u>								
V.T.S.								
a. 0 0 0	4500	4140	4410	4360	4350	12	10,5	65
b. 0 0 3	5000	4410	4960	4940	4830	16	11,1	76
c. 0 3 0	4880	4360	4910	4760	4730	19	11,0	74
d. 0 3 3	5320	4460	5290	5230	5080	28	11,9	85
e. 3 0 0	4890	4330	4980	4760	4740	20	10,6	71
f. 3 0 3	5270	4620	5420	5120	5110	28	11,7	85
g. 3 3 0	5210	4360	5460	4710	4940	30	11,7	82
h. 3 3 3	5390	4480	5580	5140	5150	40	12,5	91
i. 6 0 0	5110	4560	5460	4830	4990	30	11,4	81
k. 6 0 3	5570	4670	5370	5160	5190	38	12,6	93
l. 6 3 0	5450	4380	5400	4990	5060	40	12,3	88
m. 6 3 3	5410	4570	5870	5090	5240	47	13,0	97
Ant. felt	15	13	9	12		28	30	

Det ble brukt en faktoriell plan, og hovedeffektene og 3-faktorsamspillet er ført opp i tabell 4. Forsøkene ble anlagt fortrinnsvis ved tidlig såing og på lette jordarter der risikoen for utvasking er stor. Det har vært både hvete, bygg og havre i forsøkene. Årene 1984 og -86 ga relativt store utslag for ekstra vårgjødsling og delt gjødsling, mens utslagene var mindre i -85 og -87. Siste året har en liten avlingsøkning for vårgjødslinga og tidlig delgjødsling, mens det er store utslag for sein delgjødsling. Dette beror på at en har hatt utvasking av mineral-N etter den første delgjødslinga.

Ved vurdering av tallene for samspill i tabell 5 må en legge størst vekt på sammenligninger som har lik gjødselmengde (ledd b-c-e, ledd f-g-i, ledd k-l). Tidlig delgjødsling (2-3 uker etter spiring) har ikke gitt noen særlige fortrinn framfor å gi hele gjødselmengden om våren. Det gjelder avling, vanninnhold og legde som er omtrent like for sammenlignbare ledd. Dette er i tråd med tidligere resultater (Lyngstad 1965). En har imidlertid fått litt høyere proteininnhold, og en må regne med at risikoen for avrenning er noe mindre. Den seine delgjødslinga (4-5 uker etter spiring) har et mye bedre resultat og står bedre enn både tidlig delgjødsling og tilsvarende mengder gitt som engangsgjødsling om våren. Det gjelder alle egenskapene i tabell 4 og harmonerer også godt med resultatene i serien med delt N-gjødsling til hvete.

Diskusjon og tilrådinger

I utgangspunktet bør en gi gjødsla når plantene har størst behov. Det kan derfor virke uriktig å gi alt nitrogenet om våren da det vil gå lang tid før plantene kan utnytte det. Med de gjødselmengdene en nytter i dag sikrer en kornet nok næring i buskingsperioden og den første vegetative fasen selv om en reduserer mengden med 20-40 kg N om våren. Med hele N-mengden om våren kan en under gode vekstforhold få for stor vegetativ vekst og for tette bestand. Dette kan gi uheldig bestandstruktur, og åker som blir lettere mottakelig for sjukdommer og legde.

Ved delt gjødsling bør en vente relativt lenge før en gir delgjødslingen. Kjørespor vil redusere avlingene tilsvarende den avlingsøkningen en har hatt i forsøkene. Under tørre

forhold kan en få dårlig virkning av delgjødslingen, men forsøkene i tørkeår viser at det ikke er behov for delgjødsla i slike år (se figur 1). I tørkeår vil en derfor spare gjødsel ved praktisering av delt gjødsling. Det er videre klart at det er lettere å praktisere delt gjødsling når en har vanning og delvis behersker vannfaktoren. Her er ofte avlingsnivået høyt, og en kan sikre seg god virkning av delgjødslingen ved å vanne. Ved høyt moldinnhold, meget gode forgrøder (kløver, erter, grønnsaker) og ved sterk husdyrgjødsling er det mindre aktuelt å delgjødsla.

Høsthvete inneholder 1-2% mindre protein enn vårhvete. De norske høstvetesortene har svakere strå enn vårvetesortene. Delt gjødsling er derfor mer aktuelt i høsthvete enn i vårhvete.

I Norge praktiseres delt gjødsling til hvete. Også i bygg og havre bør delt gjødsling vurderes, i første omgang på lette jordarter og ved tidlig såing. I framtiden vil delt gjødsling til korn bli vanlig under de fleste forhold. Utviklingen her er også avhengig av hvor vanlig det blir med sprøyting mot sopp og skadedyr og kjørespor i åkeren.

Anbefalt gjødsling til hvete i Norge

Gjødselstyrken om våren reduseres med 20-40 kg N pr. ha til hveten. Mengdene av P og K bør holdes på samme nivå som ellers. Det kan derfor være riktig å velge et annet fullgjød-selslag enn hva som er brukt tidligere. Ved skyting vurderes behovet for gjødsling etter vekstforholdene og åkerens tilstand. I år med dårlig vekst (f.eks. tørke) og lavt forventet avlingsnivå, kan en sløyfe delgjødslingen. I et normalår gis den mengden en reduserte med om våren, og i år med meget god vekst hvor det ligger an til store avlinger bør delgjødslinga være noe større enn reduksjonen om våren (30-50 kg N).

Kalksalpeter og kalkamonsalpeter er de mest aktuelle gjød-selslag, og delgjødslingen bør utføres ved skyting.

Fordeler og ulemper ved delt gjødsling

Fordeler:

- Økt proteininnhold i kornet (0,5-1,0%)
- Mindre fare for avrenning av nitrogen
- Mindre legde
- Noe større avling
- Økt 1000-kornvekt og hl-vekt
- Redusert sjukdomsangrep pga. luftigere bestand
- Billigere gjødsling i tørre år
- Økt lønnsomhet

Ulemper:

- Ekstra arbeid i veksttida
- Kjøring i åkeren ved skyting
- Investering i egnet spredeutstyr

L i t t e r a t u r

Lyngstad, I., 1965. Forsøk med nitrogengjødsling til korn.
Forskn. og fors. i landbr. 16: 77-98

Forsker Egil Ekeberg
Kise forskingsstasjon
N-2350 Nes på Hedmark, Norge

SAMSPILL MED NÆRINGSTILGANG I FORBINDELSE MED VANNINGSFORSØK

1. Vanning og kloakkslam

Våren 1980 ble det anlagt et forsøk med kloakkslam på tørkesvak jord på Kise forskingsstasjon. Slammet ble frest inn i jorda, og for å unngå overslepning til naboruter ble fres brukt som eneste jordarbeidingsredskap i alle sju år som feltet ble kontrollhøstet. Halve feltet ble vannet etter behov. Det var ikke vanningsbehov i 1980, 1981 og 1985.

I 1982 var det i vekstsesongen et samlet nedbørunderskudd på 200 mm. Vanningsrutene ble gitt 180 mm fordelt på seks omganger. Det ble dyrket Kerrs Pink og Mandel potet, Kyros forbete og Ruta Øtofte kålrot. I middel for ugjødset og 120 kg nitrogen i fullgjødset pr. hektar ble avlinga i kg tørrstoff pr. hektar:

	Uten slam	20 t organisk slamts./ha våren 1980	Slam- virkning
Uten vanning	4780	5660	880 (18%)
Med vanning	7200	10180	2980 (41%)
Vanningsvirkning	2420 (51%)	4520 (80 %)	

Oppstillingen ovenfor viser at slamvirkningen på avlinga var mer enn tre ganger så stor ved god som ved dårlig vanntilgang. Virkningen av vanning var nesten doblet ved tilførsel av slam.

I 1983 var nedbørunderskuddet i vekstsesongen 164 mm. Vanningsrutene fikk 140 mm vann fordelt på fem omganger. Slamvirkningen i prosent var:

	Uten vanning	Med vanning
Potet, Kerrs Pink	7	10
Mandel	7	19
Kepaløk	2	10
Førraps	34	75

Slammet ga også dette året betydelig større avlingsøkning med enn uten vanning.

I 1985 var det et nedbøroverskudd på 100 mm i juli og august. Det ble dyrket Gunilla bygg. Slamvirkningen i kg korn pr. hektar ble:

	N, kg/ha i fullgjødning	
	0	120
Uten vanning i 1982-84	610	310
Med vanning i 1982-84	240	80

Ettervirkningen av slam var størst der det ikke var vannet de tre foregående årene. Da nedbryting av organisk materiale i jorda er avhengig av fuktighetsforholdene er det rimelig at gjødselvirkningen av slammet avtok raskest ved gode vannforhold. Det var også blitt fjernet betydelig større næringsstoffmengder i avlingene fra rutene med vanning enn fra de uvannede rutene.

2. Vanning og gjødselplassering

I årene 1975 til 1978 ble det på Nord-Østlandet utført vanningsforsøk med gjødselplassering i 6-8 cm dybde til korn sammenlignet med overflategjødsling og nedharving. Tidligere (Lyngstad 1977, Ekeberg 1977) var det klarlagt at gjødselplassering ga avlingsøkning når det var lite eller ingen nedbør i og like etter våronna. For brukere med vanningsutstyr var det ønskelig å få klarlagt virkningen av gjødselplassering ved vanning etter behov. I middel for 11 forsøk med avlingsøkning for gjødselplassering fikk en følgende resultat i kg pr. hektar:

	Bred- gjødsling	Gjødsel- plassering
Uten vanning	2950	+130 (4,4%)
Med vanning	4160	+320 (7,7%)

Det ble best virkning av gjødselplassering når det var tørre forhold i våronna og det senere ble vannet etter behov. Avlingsøkningen for vanning var i middel av disse feltene 41% ved bredgjødsling og 45% ved gjødselplassering.

Arsaken til dette samspill synes å være at vanning til planter med tidlig næringsopptak gir bedre virkning enn til planter i mindre god vekst. Det er urealistisk å tro at de sistnevnte vil kunne nå igjen de førstnevnte.

3. Vanning og nitrogen gjødsling i veksttida

I 1983 til 1986 ble det gjennomført et vanningsforsøk med delt gjødsling i veksttida. Det var stort vanningsbehov i 1983 og 1986. Feltet ble gjødslet med 60 kg N pr. hektar i fullgjødsel 20-5-9. Alle ledd ble i tillegg gjødslet til ulik tid med 40 kg N pr. hektar i kalksalpeter. Det ble dyrket Gunilla bygg, Mustang havre og Runar hvete. Grunnet uhell ble ikke feltet høstet i 1984. I middel for 1983, 1985 og 1986 ble avlinga i kg pr. hektar:

(Såtid)	40 kg N pr. hektar i kalksalpeter den:					
(14.05)	19.05	07.06	21.06	05.07	19.07	Middel
<hr/>						
Uten vanning	3210	3010	3110	3080	3190	3120
Med vanning	4310	4300	4380	4390	4440	4360

Det var 40% større avling med enn uten vanning mens det ikke var påviselige avlingsforskjeller mellom de ulike gjødslingstidspunkt.

I 1985 var det mye legde. I middel for vanningsledda var legdegraden for de fem N-gjødslingstidspunkt henholdsvis 98, 98, 95, 82 og 64%.

Figur 1a viser avlinga av korn og halm med 15% vann i 1983. Det var liten avlingsforskjell også dette året for de ulike gjødslingstidspunkt mens vanning økte kornavlinga med 55% og halmavlinga med 28%.

Figur 1b viser N-konsentrasjonen i tørrstoffet i halm og korn i 1983. I halmen økte den ved gjødsling fram til 31. juni, mens siste gjødslingstidspunkt ga noe nedgang. Det var samme virkning med og uten vanning. I kornet var det økende konsentrasjon på vannete ruter ved utsatt gjødsling. Uten vanning økte konsentrasjonen ved gjødsling fram til 31. juni, mens siste gjødslingstidspunkt, 15. juli (ved aksskyting) ga lågere verdi.

Figur 1c viser innholdet av N i korn og halm i forhold til det som var gitt med kunstgjødsel. Også her ble det tydelig samspill mellom vanning og gjødslingstidspunkt. Ved vanning inneholdt kornavlinga fra 66 til 75% av tilført N (N fra jordlageret ikke fratrasket) med tydelig økning for utsatt gjødslingstidspunkt. Uten vanning var det størst opptak, 62%, ved gjødsling den 17. juni. Opptaket i halmen var uavhengig av gjødslinga.

Figur 1d viser proteininnholdet i hvete i middel for 1983, 1985 og 1986. Uten vanning var det økende innhold for nitrogengjødsling fram til 5. juli, mens gjødsling den 19. juli ga lågere verdi. Med vanning var det lågere verdier men med økning i innholdet fram til siste gjødslingstidspunkt.

K o n k l u s j o n

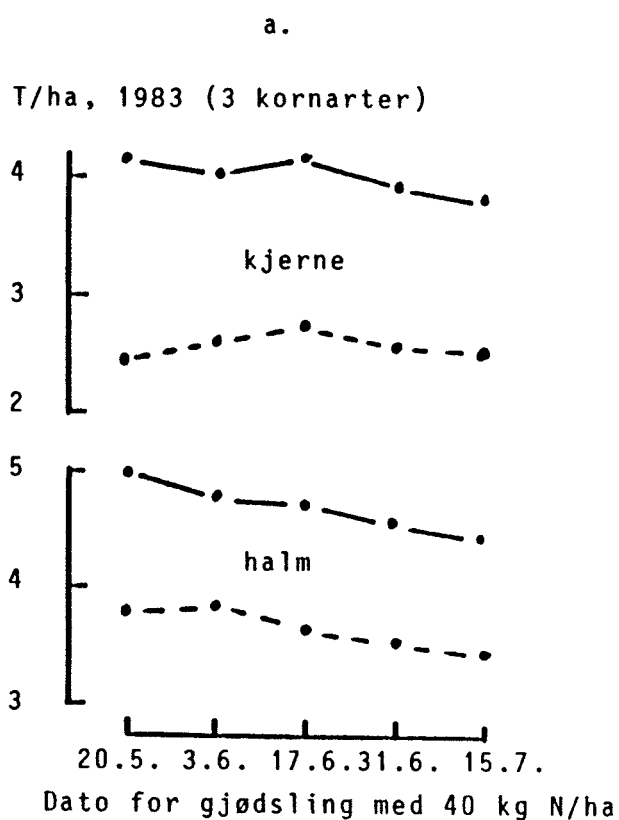
1. Man får best virkning av kloakkslam når vanntilgangen er god. Bruk av kloakkslam på tørkesvak jord som ikke blir vannet vil trolig gi dårlig utnyttelse av næringsstoffene i slammet. På slik jord kan derfor slammet være en potensiell kilde til forurensning.

Dårlig ettervirkning av slam etter flere år med vanning skyldes trolig at næringsstoffene allerede er tatt opp i tidligere års avlinger.

2. Gjødseleplassering fører til tidlig næringsopptak slik at plantene er i stand til å dra nytte av vanning under tørre forhold. Det blir tilsvarende resultat om vannet kommer som nedbør.
3. Delt N-gjødsling ga ikke avlingsgevinst, men det ble redusert vegetativ vekst og redusert legdefare. N-konsentrasjonen i tørrstoffet og dermed proteinavlinga økte fram til gjødsling ved aksskyting når vanntilgangen var god. Ved dårlig vanntilgang var noe tidligere gjødsling best. Sent gjødslingstidspunkt under gode vannforhold ga best utnyttelse av tilført N.

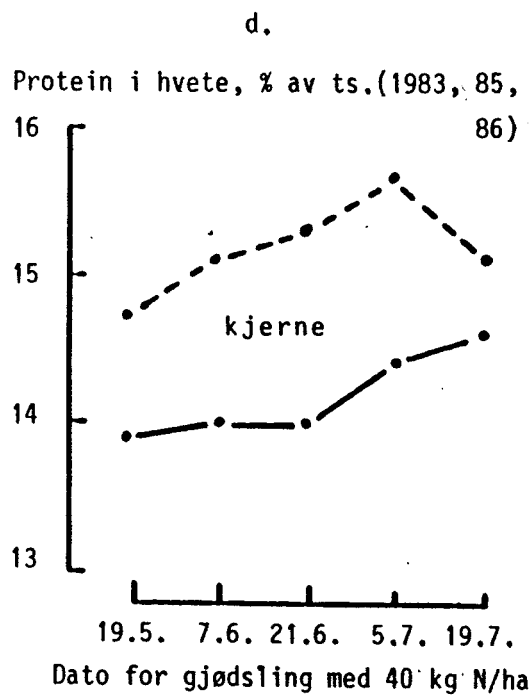
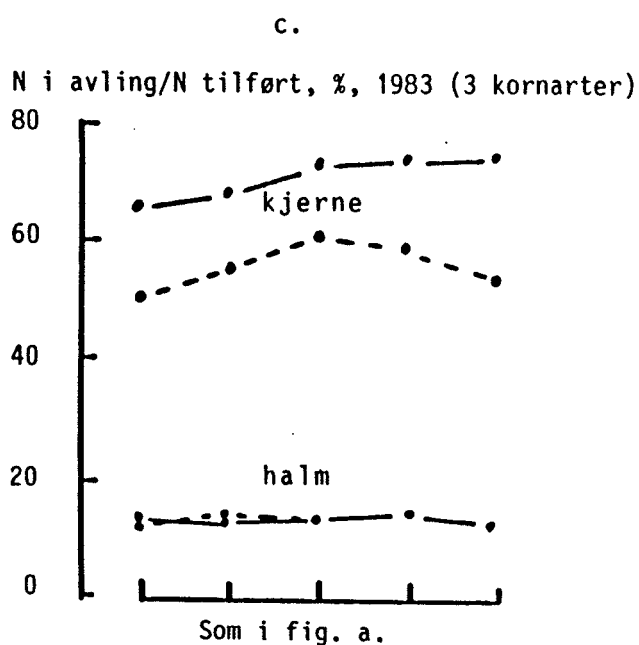
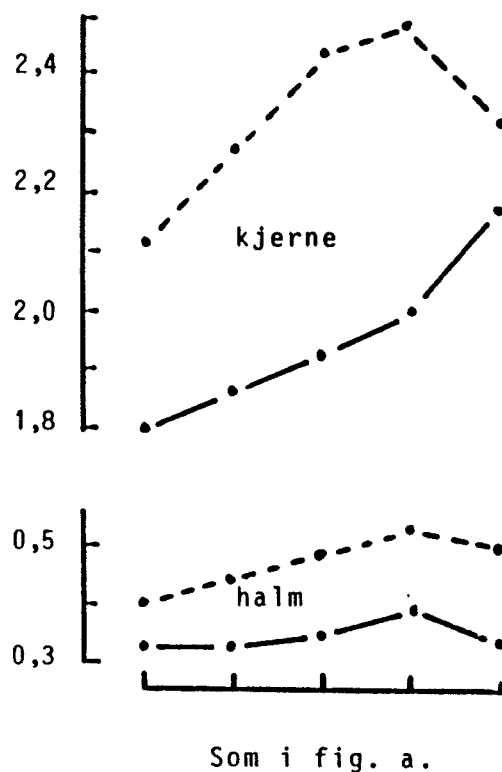
Litteratur

- Ekeberg, E., 1977. Forsøk med radgjødsling til korn i Hedmark og Oppland 1968-1973. Forsk. Fors. Landbr. 28: 213-228.
- Lyngstad, I., 1977. Radgjødsling til korn. Forsøk i perioden 1965-1975. Forsk. Fors. Landbr. 28: 159-177.



b.

N, % av ts. 1983 (3 kornarter)



Figur 1. Avling (a.), N i prosent av tørrstoffet (b.) og N i avling i forhold til N tilført med gjødsel (c.) i middel for bygg, havre og hvete i 1983, og protein i hvete i middel for 1983, 1985 og 1986 (d.) for uvannet (---) og vannet (—) ved ulike gjødslingstidspunkt.

STYRNING AV KVÄVEGIVAN I BEVATTNAD POTATIS

Av Harry Linnér, Avd. för hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet

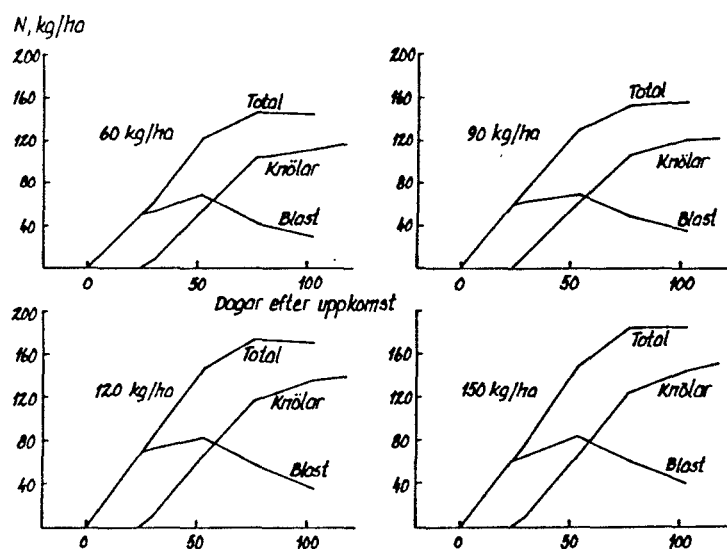
INLEDNING

Risken för kväveförluster till yt- och grundvatten är förhållandevis stor inom potatisodlingen. Odlingen är i stor utsträckning lokaliserad till genomsläppliga jordar med svag vattenhållande förmåga. Potatisens rotsystem är relativt grunt och dess förmåga att utnyttja markens kväveförråd är tämligen svag. Efter skörden finns det därför ofta en hel del restkväve kvar i marken. Detta gäller speciellt om avkastningen, t ex på grund av torka, blir lägre än normalt. En riktig anpassning av kvävegödslingen till grödans aktuella behov är viktig både med tanke på avkastning och kvalitet och med hänsyn till miljön.

POTATISENS KVÄVEUPPTAGNING

Kväveupptagningen i potatisblasten är normalt 2-4 kg per hektar och dag. Totalt inlagras 60-120 kg per hektar under 30-50 dagar efter uppkomsten. I extrema fall har 150 kg per hektar uppmätts i blasten. Blastens kväveinnehåll avtar senare under knöltillväxten på grund av att kväve omlagras från blasten till knölarna. När blasten börjar vissna ned innehåller den något 10-tal kg kväve per hektar (Linnér, 1984).

I knölarna inlagras vanligen 75-160 kg per hektar från knölbildningens början till tillväxtens avslutning. Högsta uppmätta mängd har varit nära 200 kg per hektar. Kvävemängden i knölarna ökar i medeltal med 2-3 kg per hektar och dag. En del av detta kväve kommer från blasten medan resten tas upp från marken. Om kvävetillgången i marken är otillräcklig under knöltillväxten töms blasten alltför snabbt på sitt kväveinnehåll och tillväxten avslutas i förtid (Linnér, 1984). I figur 1 visas kväveupptagningsförloppet i blast och knölar vid olika kvävegivor till sorten Bintje.



Figur 1. Kväveupptagningsförloppet i blast och knölar vid olika kvävegivor före sättningen. Medeltal av fem försök i sorten Bintje 1978-1982 (Linnér, 1984).

God vattenförsörjning ökar potatisens kväueupptagning. I en svensk undersökning som omfattade 18 försök upptogs i knölskörden 13-23 % mer kväue i bevattnade försöksled (Linnér, 1984). Jörgensen (1987) fann i en dansk undersökning att kväueupptagningen i knölskörden ökade med 16-25 % i bevattnade led. Vid en genomsnittlig kväuegödsling med 175 kg per hektar återfanns 146 kg per hektar i knölskörden i obevattnade led. I bevattnade led fanns 169-182 kg per hektar i knölskörden.

MARKENS KVÄUEFÖRRÅD

Mängden mineralkväue i marken vid tiden för potatissättningen varierar starkt beroende bl a på jordart, förfrukt och förutsättningarna för utlakning sedan föregående höst. Vid en undersökning av 24 fält före potatissättningen fanns det i medeltal 82 kg mineralkväue per hektar i nivån 0-90 cm. Mängden varierade mellan olika fält från 24 till 212 kg per hektar (Mattsson & Lindén, 1988).

För potatis är det främst kväuet i skiktet 0-30 cm som har betydelse för kväueförsörjningen. I medeltal fanns det i den nämnda undersökningen 36 kg per hektar i skiktet 0-30 cm. Beräkningar visade att en ökning av mineralkväueförrådet med 1 kg per hektar motiverade en sänkning av kväuegivan med 1,1 kg per hektar.

Kväuemineraliseringen under växtperioden varierar från fält till fält och mellan åren. Även om man genom analys känner till mineralkväueförrådet på våren är det därför svårt att vid tiden för potatissättningen bedöma kväuegödslingsbehovet. Möjligheterna att säkrare bedöma kväuegödslingsbehovet ökar om gödslingen sker senare.

Mineralkväueförrådet i marken på hösten efter potatisskörden är ofta betydligt större än exempelvis efter stråsåd. Mängden mineralkväue efter potatisskörden är inte sällan större än på våren före gödslingen. Mattsson & Lindén (1988) fann att mineralkväueförrådet i skiktet 0-30 cm ökade från i medeltal 36 kg per hektar på våren till 39 respektive 52 kg per hektar på hösten i led som kväuegödsplats med 75 respektive 125 kg per hektar. Kväuebortförseln med knölskörden var i medeltal 90 respektive 108 kg per hektar.

KVÄUEGÖDSLINGSSTRATEGI

Riklig kväuetillgång i början av växtperioden stimulerar blastutvecklingen. Ofta blir blasten kraftigare än vad som behövs för en maximal knöltillväxt. Vid alltför kraftig blastutveckling bidrar endast en del av blasten till fotosyntesproduktionen. De nedre skuggade delarna av blasten får en negativ assimilationsbalans och konkurrerar således med knölarna om produkterna från fotosyntesen. En kväuegödslingsstrategi med måttlig gödsling vid sättningen och komplettering senare under växtperioden tillgodoser bättre potatisens behov av kväue under olika utvecklingsstadier. Kväuetillgången under knöltillväxten är viktig för avkastningen. Även med en hög engångsgiva före sättningen blir kväuetillgången under knöltillväxten ofta otillräcklig.

FÖRSÖK MED DELADE KVÄUEGIVOR

I bevattnade försök med olika kväuegödslingsstrategi har uppdelning av kväuegivan i flertalet fall givit högre knölskörd (Tabell 1), högre kvot knölar/blast och en större kväueupptagning i knölskörden. Särskilt under år med hög nederbörd under försommaren har kväuegivor

under knöltillväxten varit avsevärt effektivare än om motsvarande mängd tillförts före sättningen. I medeltal har kväve som tillförts under knöltillväxten ökat skörden med 75-125 kg knölar per kg kväve. Om kvävegivan före sättningen istället ökades med motsvarande mängd kväve blev utbytet ca 50 kg knölar per kg kväve (Linnér, 1988).

Tabell 1. Knölskörd, ton/ha, vid olika fördelning av kvävet till potatis. Medeltal av 14 försök i Sydsverige 1978-1982

Kvävefördelning	Total kvävegiva, kg/ha			Medeltal
	90	120	150	
Hela givan före sättningen	39,2	41,1	42,2	40,8
1 x 30 kg/ha under knöltillväxten	41,4	42,5	43,2	42,4
2 x 30 " " "	41,4	42,6	44,0	42,7
3 x 30 " " "	41,7	43,4	44,5	43,2

I försöken tillfördes kvävegivorna vid förutbestämda tidpunkter. Utförda bladanalyser visade i efterhand att kvävegivorna i många fall hade tillförts alltför sent. Kväveförsörjningen hade då redan varit otillräcklig en tid. Med hänsyn till nuvarande kunskaper om optimala kvävehalter i blasten borde kvävegivorna under knöltillväxten tillförts tidigare. Det hade sannolikt ytterligare förbättrat effekterna av kvävet som gavs under knöltillväxten.

I pågående försök utnyttjas erfarenheterna från tidigare studier. I tabell 2 redovisas resultaten från ett försök i sorten Bintje som utfördes i södra Sverige 1988. Kompletteringsgödslingarna med 30 kg/ha gjordes 34 respektive 50 dagar efter uppkomsten. Uppdelningen av kvävegivan gav som framgår av tabell 2 betydande skördeökningar. Dessutom blev mängden restkväve i marken efter skörden mindre i leden med uppdelad kvävegiva. Restkvävemängden blev t o m lägre än i det ogödslade ledet. Uppdelningen av kvävegivan bidrar således inte bara till högre skörd utan även till ett effektivare kväveutnyttjande.

Tabell 2. Resultat från försök med olika kvävegödslingsstrategi till sorten Bintje 1988. Gödslingstidpunkter: Före sättning, 34 dagar efter uppkomst resp. 50 dagar efter uppkomst. Mineralkväveförråd i skiktet 0-90 cm på våren: 49 kg/ha

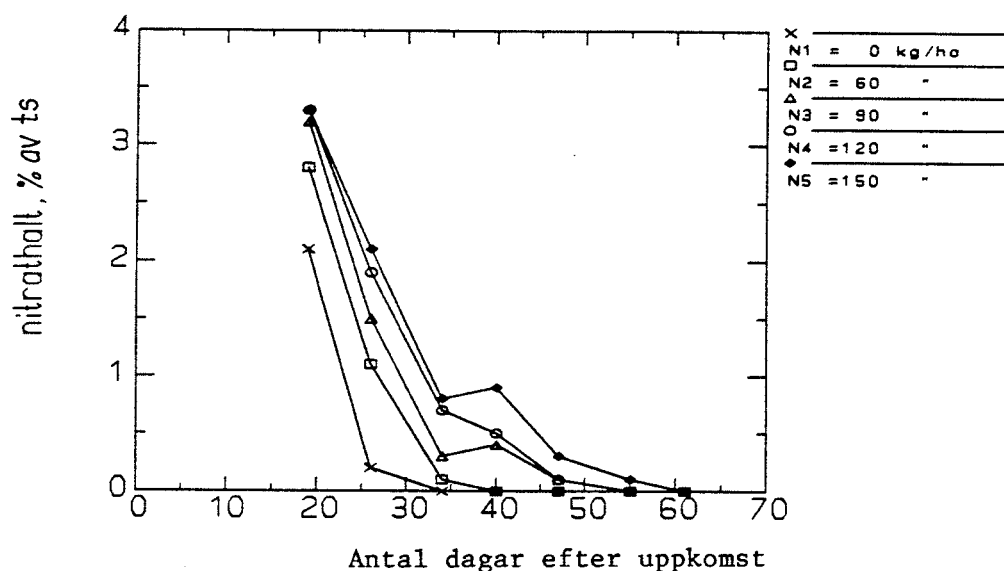
Kvävegödsling kg/ha	Knölskörd ton/ha	Torrsubstans- skörd, ton/ha	Kväve i knöl- skörden, kg/ha	Min.-N hösten 0-90 cm, kg/ha
0	39,6	9,4	84	39
60	47,9	11,4	107	45
30+30	52,2	12,1	110	39
90	55,3	12,2	122	43
60+30	58,6	13,0	126	37
30+30+30	61,8	12,4	148	35
120	56,3	12,2	136	47
90+30	61,7	13,0	149	37
60+30+30	61,9	14,1	158	35
150	61,1	13,0	140	47
120+30	59,0	13,6	157	40
90+30+30	66,1	13,5	190	35

STYRNING AV KVÄVEGIVAN MED HJÄLP AV VÄXTANALYS

För att bestämma behovet av kompletterande kvävegödsling under växtperioden kan växtanalys vara ett bra hjälpmedel. Växterna tar normalt upp kväve i form av nitrat. Nitraten omvandlas sedan i bladen till aminosyror och proteiner. Nitrathalten i stammen och bladstjälken är en känslig indikator på den aktuella kvävetillgången. Om kvävebehovet är större än tillgången i marken sjunker nitrathalten i växten. Efter kvävegödsling stiger nitrathalten snabbt (Linnér, 1988).

Två olika växtanalysmetoder har undersökts i potatis i Sverige. Det är dels analys av nitratkvävehalten i bladstjälken från det sist fullt utvecklade bladet (ca 4:e bladet från toppen) och dels analys av totalkvävehalten i hela bladet. Sannolikt fungerar båda metoderna bra som diagnostiskt hjälpmedel för kväve (Lennartsson, 1989).

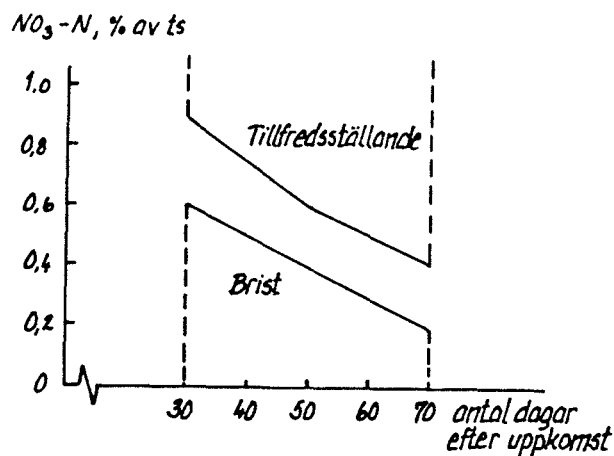
I figur 2 visas ett exempel på hur nitrathalten i bladstjälkarna förändras under växtperioden.



Figur 2. Nitratkvävehalt, % av ts, i bladstjälkar vid olika kvävegivor före sättningen till Bintje. Försök vid Ugerup 1988.

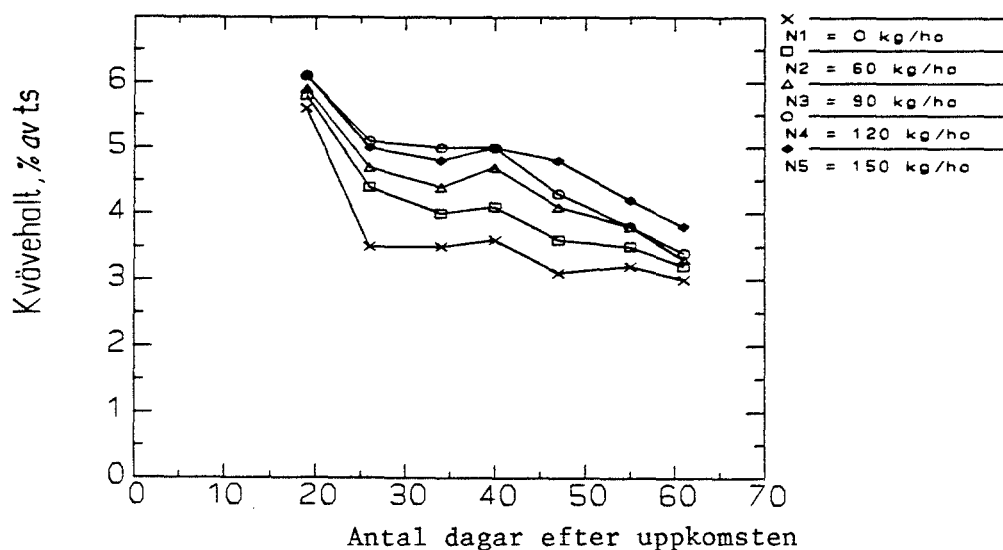
Genom att utvärdera resultaten från försök med olika kvävegivor och kompletteringsgivor under växtperioden har ett kalibreringsdiagram för tolkning av analysvärden tagits fram (Figur 3). Om analysvärdet för ett representativt prov på cirka 40 bladstjälkar hamnar ovanför den övre linjen i diagrammet är kvävetillgången tillräcklig. Om analysvärdet ligger mellan linjerna i figuren är situationen mera svårbedömd. Analysen bör då upprepas ett par veckor senare.

Om analysvärdet ligger under den nedre linjen behövs med stor sannolikhet en kompletteringsgiva av kväve. Hur stor giva som behövs beror på hur stark brist som konstateras och på tidpunkten. Om brist konstateras tidigt under växtperioden kan en tilläggsgödsling med 30-50 kg/ha vara befogad. Om brist konstateras senare kan en giva på 10-30 kg/ha vara tillräcklig. För att tilläggsgivan snabbt skall ge effekt behövs regn eller bevattning. Diagrammet bygger på försök som utförts i södra Sverige under perioden 1979-1988.



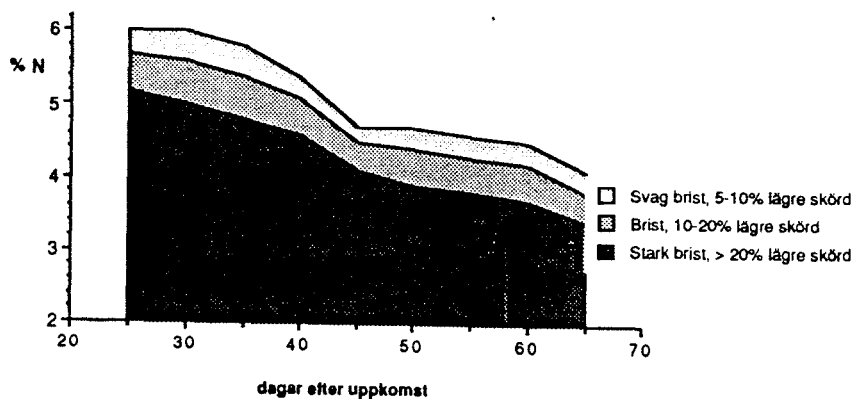
Figur 3. Utvärderingsdiagram för analys av nitrathalten i potatisbladstjälkar.

I figur 4 visas ett exempel på hur totalkvävehalten i representativa prov från de sista fullt utvecklade bladen förändras under växtperioden.



Figur 4. Totalkvävehalten, % av ts, i hela blad vid olika kvävegivor till Bintje. Försök vid Ugerup 1988.

För fabrikspotatis har optimala halter av totalkväve i bladen beräknats av Lennartsson (1989). Resultatet som bygger på 5 försök i Syd-sverige redovisas i figur 5.



Figur 5. Optimala halter kväve i potatisblad (Lennartsson, 1989).

SAMMANFATTNING

Det är svårt att bedöma behovet av kvävegödsling till potatis på våren före sättningen. Analys av mineralkväveförrådet i marken på våren indikerar om behovet är större eller mindre än normalt. Kvävemineraliseringen under växtperioden varierar emellertid så starkt mellan olika fält och mellan åren att bedömningen av den optimala kvävegivan blir mycket osäker vid tiden för potatissättningen.

En kvävegödslingsstrategi med en måttlig giva vid sättningen och komplettering senare under växtperioden ökar möjligheterna att korrigera kvävetillförseln med hänsyn till grödans utveckling och till potatisens behov av kväve under olika utvecklingsstadier. Uppdelning av kvävegivan ger ett effektivare kväveutnyttjande och högre avkastning. Restkvävemängden i marken efter skörden har minskat på grund av grödans effektivare kväveupptagning.

Växtanalys kan vara ett bra hjälpmedel att bedöma behovet av kompletteringsgödsling under växtperioden.

På grundval av utförda försök kan följande kvävegödslingsstrategi för potatis rekommenderas:

Ge 50-60 % av det förväntade kvävebehovet vid sättningen. Radmyllning av växtnäringen är effektivast och miljövänligast.

Analysera blastens kvävestatus cirka 4 veckor efter uppkomsten och kompletteringsgödsla vid behov. Upprepa analysen 2-3 veckor senare och ge ytterligare kväve om brist konstateras.

LITTERATUR

Jørgensen, V. 1987. Vanding af kartofler. Kartoffel nyt nr 40. 22 s.

Lennartsson, N. 1989. Växtanalys som diagnostiskt hjälpmedel i fabrikspotatis. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för växtnäringslära. Manuskript. 74 s.

Linnér, H. 1984. Markfuktighetens inflytande på evapotranspiration, tillväxt, näringsupptagning, avkastning och kvalitet hos potatis. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. 153 s.

Linnér, H. 1988. Delad kvävegiva till potatis önskvärd. Växtpressen nr 6. 3 s.

Mattsson, L & Lindén, T. 1988. Kväveförsök i potatis med bestämning av mineralkväve i marken. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för växtnäringslära. Rapport 174. 27 s.

Mathias N. Andersen

Statens Planteavlsforsøg
Afdeling for Kulturteknik
Flensborgvej 22, St. Jyndevad
DK-6360 Tinglev

VEKSELVIRKNING MELLEM KALIUMGØDSKNING OG VANDING I BYG.

Indledning

På sandjorde med lavt indhold af plantetilgængeligt vand og næringsstoffer er der udført mange forsøg for at finde de optimale niveauer af vanding og kvælstofgødskning. Vekselvirkningen mellem vanding og kaliumgødskning er imidlertid mindre undersøgt.

Det er velkendt, at kaliumsalte udgør hovedbestanddelen af de osmotisk aktive stoffer i mange dyrkede planter (e.g. Wyn Jones et al., 1979; Hsiao & Läuchli, 1986). Kaliumsalte er således af væsentlig betydning for turgor og cellevækst i skud og rødder. Endvidere har kaliumsalte en specifik rolle i den osmotiske regulering af stomatas åbning og dermed for transpiration, vandudnyttelse og vandstatus hos planterne (e.g. Nelson, 1980; Lindhauer, 1983; Hsiao & Läuchli, 1986).

Van der Paauw (1958) påviste, i en ikke-eksperimentel undersøgelse, en positiv sammenhæng mellem merudbyttet for kaliumgødskning og antallet af nedbørsfrie dage i vækstsæsonen i hollandske forsøg med kartofler, hvede og græs. I markforsøg i England fandt Leigh & Johnston (1983b), at udbyttet af byg var positivt korreleret med kaliumkoncentrationen i tørstoffet af unge planter. Højt kaliumindhold øgede planternes vandindhold og formentlig afgrødernes bladarealindeks.

Formålet med markforsøgene, som beskrives her og som blev gennemført i årene 1985, 1986 og 1987, var at undersøge vekselvirkningen mellem kaliumgødskning og vanding af byg og belyse næringsstofoptagelse, vækstforløb, vandudnyttelse og planternes vandrelationer (i.e. relativt vandindhold, osmotisk potential, bladvandpotential og turgor).

Materialer og metoder

Markforsøgene blev gennemført på Jyndevad Forsøgsstation på grovsandet jord med en plantetilgængelig vandmængde på ca. 67 mm i rodzonen (0 - 60 cm). Indholdet af ekstraherbart (0.5 M $\text{NH}_4\text{OOC}_2\text{H}_3$) kalium var 0.1 m.e./100 g i pløjelaget og 0.08 m.e./100 g i underjorden.

Vårbyg (*Hordeum vulgare* L. cv. Gunnar) blev udlagt i 15.6 m² parceller med normale tilførsler af N (110-120 kg/ha) og P (30 kg/ha). Behandlingerne i 2-faktor blokforsøget var randomiserede med 3 gentagelser og er vist i tabel 1.

Tabel 1. Behandlingerne i 2-faktor forsøget.

Faktor 1: Kaliumklorid (49% K) tilført ved fremspiring.

1: 50 kg K pr ha

2: 125 - - - -

3: 200 - - - -

Faktor 2: Vanding.

a: Vanding ved 30 mm jordvandsdeficit (fuldt vandet)

b: Udtørret til 50 mm jordvandsdeficit under tidlig kernefyldning ved hjælp af overdækning, ivotrigt som a.

c: Vanding ved 50 mm jordvandsdeficit.

I vandingsbehandling b blev anvendt overdækninger på 5 x 7 m, bygget af aluminiumsrør og med tag af 0.2 mm polyethylen. Jordvandsdeficitet (SWD) blev målt med neutronmetoden og parcellerne blev opvandet til markkapacitet ved hjælp af et drypvandingssystem, når udtørringskriterierne blev nået.

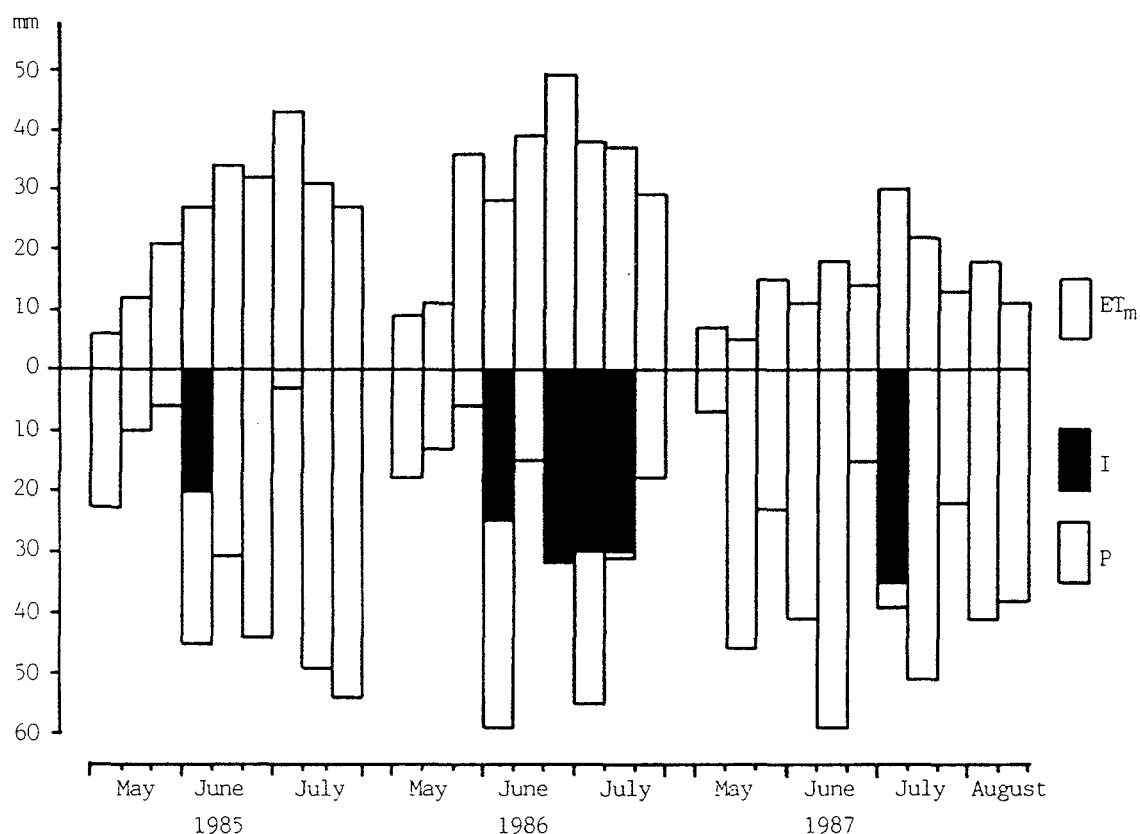
Aktuel fordampning (ET_a) blev beregnet udfra neutronmålinger eller i perioder med afdræning udfra potentiel fordampning (ET_0) gange en beregnet afgrødefaktor (k_c).

Kerne- og halmudbytte bestemtes ved at høste et areal på 8,40 m² ved modenhed, og vandudnyttelsen (WUE) beregnedes udfra ET_a . Endelig blev der udført vækstanalyser ved afhøstning af 0.54 m² 6 - 7 gange i vækstsæsonen, hvor biomassetilvækst og bladarealindeks (LAI) bestemtes i enkeltparcellerne. Toptørstof og blade

blev analyseret for indhold af N, P, K, Na, Ca, Mg og i enkelte tilfælde Cl.

Resultater

Klimaet var meget forskelligt i de tre forsøgsår (Fig. 1). I 1985 blev der vandet een gang ved 30 mm deficit tidligt i juni, men der kom nedbør kort efter. I 1986 vandedes 4 gange ved 30 mm deficit, som følge af tørkeperioder med høj potentiel for-dampning i juni og juli. 1987 var karakteriseret ved lave tem-peraturer og nedbørsoverskud hele vækstsæsonen, en enkelt vand-ing fik ingen betydning på grund af nedbør kort efter.



Figur 1. Aktuell evapotranspiration (ET_m), vanding (I) og nedbør (P) i den fuldt vandede behandling (a) i 10 - 11 dages perioder i de tre vækstsæsoner.

Udbytte og vandudnyttelse

Tildeling af kalium udover det normale (50 - 70 kg/ha) påvirkede ikke kerneudbyttet signifikant (Tabel 2) på trods af det lave indhold af ekstraherbart kalium i jorden. Halmudbyttet blev imidlertid øget ca. 10 % ved kaliumniveau 2 og 3.

Tørke i den tidlige kernefyldningsfase (vandingsbehandling b) mindskede udbyttet ca. 5 % i 1985 og ca. 35 % i 1986. Halmudbyttet var kun lidt påvirket af denne behandling. I 1987 øgede vandingsbehandling b udbyttet, formentlig fordi overdækningen mindskede N-udvaskningen. Tørke i vandingsbehandling c i 1985 under busknings- og strækningsfasen mindskede halmudbyttet ca. 10 %. Endelig forekom der tørke i blomstringsperioden i 1986, som medførte en nedgang i kerneudbyttet på ca. 35 % og en nedgang i halmudbyttet på ca. 25 %.

Tabel 2. Udbytte af kerne og halm.

Vanding	1985					1986					1987				
	K-niv. (kg/ha)					K-niv. (kg/ha)					K-niv. (kg/ha)				
	50	125	200	gns.	LSD	50	125	200	gns.	LSD	50	125	200	gns.	LSD
Kerneudbytte (hkg tørstof/ha)															
a	43.5	44.3	43.2	43.7		55.4	55.5	55.3	55.4		49.2	47.3	47.4	48.0	
b	41.9	38.4	43.0	41.1	2.0	35.5	37.9	37.8	37.0	2.8	50.1	51.8	50.1	50.7	1.5
c	41.7	43.6	43.7	43.0		38.2	36.4	34.9	36.5		-	-	-		
gns.	42.4	42.1	43.3			43.0	43.3	42.7			49.7	49.6	48.8		
LSD	n.s.					n.s.					n.s.				
Halmudbytte (hkg tørstof/ha).															
a	44.7	49.1	45.7	46.5		39.8	41.8	44.9	42.2		48.7	53.0	51.6	51.1	
b	43.6	43.2	45.8	44.2	1.9	37.8	42.1	43.9	41.3	2.5	46.8	51.5	51.1	49.8	n.s.
c	39.2	43.9	43.5	42.2		31.6	31.3	32.1	31.7		-	-	-		
gns.	42.5	45.4	45.0			36.4	38.4	40.3			47.8	52.3	51.4		
LSD	1.9					2.5					2.6				

I tabel 3 er vist aktuel fordampning og vandudnyttelse for henholdsvis kerne- og tørstofproduktion. Tabellen viser, at fordampningen ikke påvirkedes væsentligt af kaliumtildeling, hvorfor vandudnyttelsen for tørstofproduktion (WUE_{DM}) øgedes med kaliumtildelingen i vandingsbehandling a og b. I 1987, hvor fordampningen var lav og luftfugtigheden høj, lå vandudnyttelsen på et betydeligt højere niveau end i de to andre år.

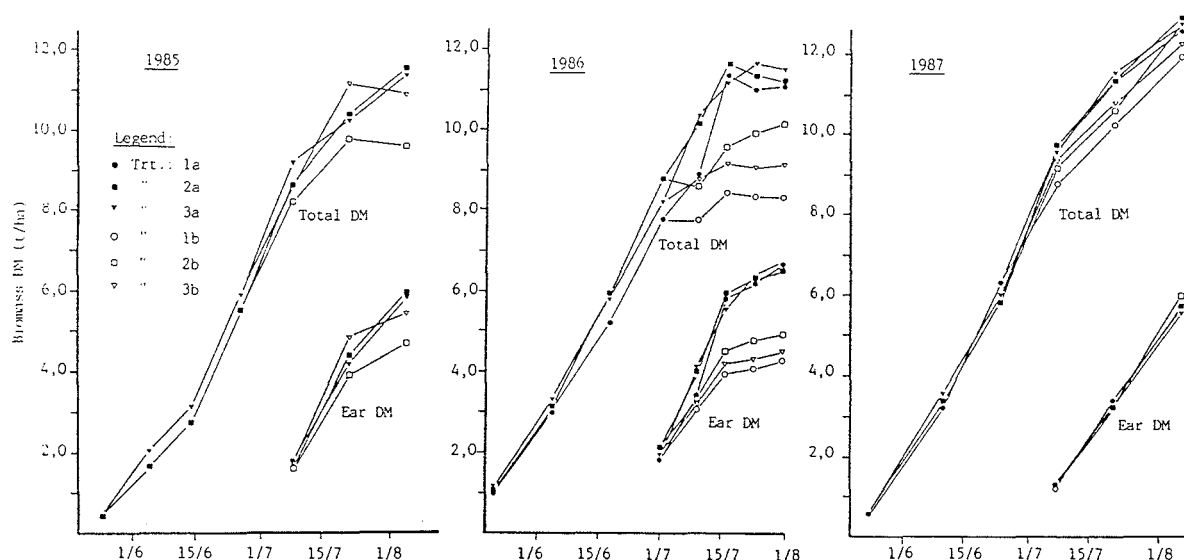
Tabel 3. Vandudnyttelse for kerne- og tørstofproduktion henholdsvis WUE_G og WUE_{DM} i kg/ha·mm og aktuel fordampning (ET_a) i mm.

År	K-niv. kg/ha	Vanding	WUE_G	WUE_{DM}	ET_a
1985	50	a	18.6	37.6	234.6
	125	a	18.6	39.8	234.6
	200	a	18.6	37.9	234.6
	50	b	21.8	44.5	192.0
	125	b	20.1	42.8	190.7
	200	b	21.9	45.2	196.0
1986	50	a	19.9	34.2	278.3
	125	a	19.9	35.0	278.3
	200	a	19.9	36.0	278.3
	50	b	16.3	33.7	217.4
	125	b	17.7	37.4	214.0
	200	b	17.5	37.8	216.1
	50	c	17.9	32.7	213.4
	125	c	16.9	31.4	215.7
	200	c	16.1	31.0	216.3
1987	50	a	30.7	60.9	160.6
	125	a	30.7	62.5	160.6
	200	a	30.7	61.7	160.6

Skudvækst -----

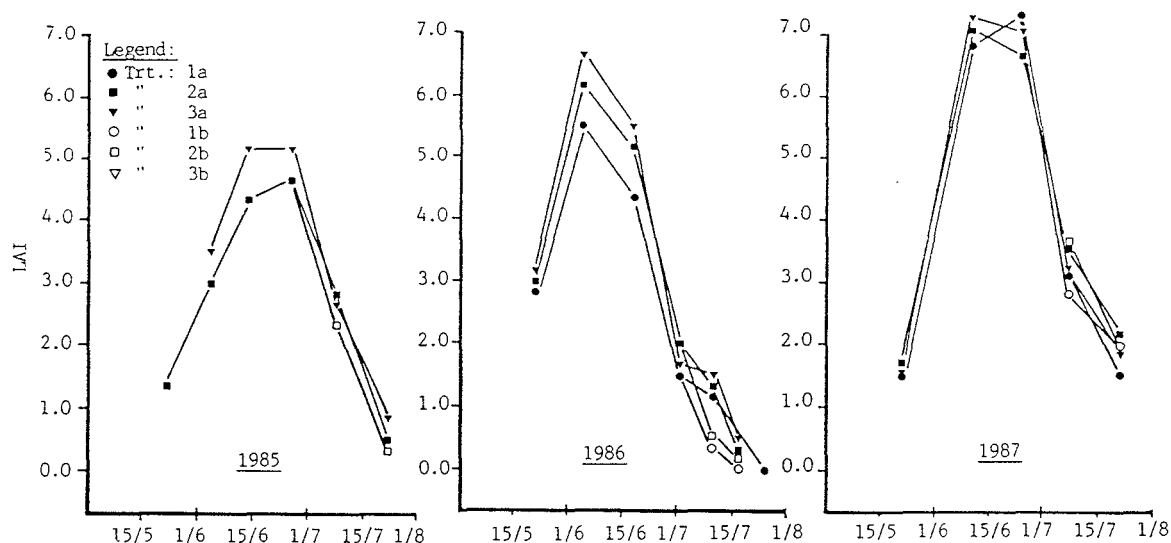
Tilvæksten i total- og akstørstof i de tre vækstsæsoner er vist i figur 2. Der blev ikke taget prøver i det laveste kaliumniveau i 1985 og heller ikke i vandingsbehandling c.

I 1985 og 1986 bevirkede øget kaliumtildeling en hurtigere vækst i den vegetative vækstfase. I begyndelsen af kernefyldningsfasen var totaltørstofmængden således øget signifikant med 10 % ($P < 0.05$) i 1985 og såvel totaltørstof- ($P < 0.002$) som akstørstofmængden ($P < 0.03$) med 15 % i 1986. Endvidere bevirkede tørkeperioden i vandingsbehandling b i 1986, at forskellen mellem kaliumniveauerne blev opretholdt langt hen i kernefyldningsfasen (Fig. 2). I det fugtige år 1987 fandtes kun små forskelle mellem behandlingerne.



Figur 2. Tilvækst af totaltørstof og akstørstof.

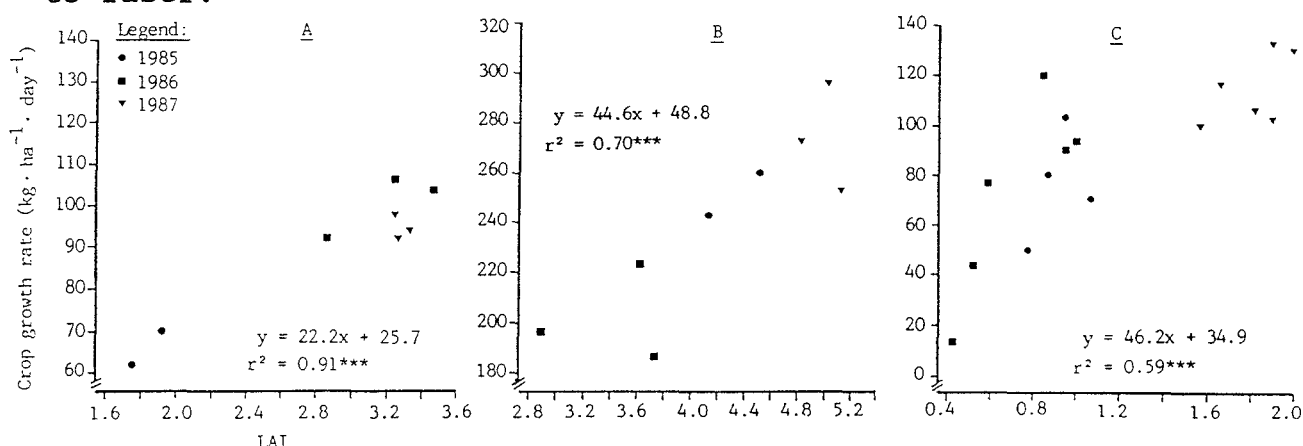
Bladarealindekset i behandlingerne er vist i figur 3. Bladarealvarigheden (LAD) blev beregnet ifølge Hunt (1982), som arealet under kurverne i figur 3. En samlet variansanalyse for de tre år viste, at der var signifikante forskelle mellem år ($P < 0.0001$). LAD var meget højere i 1987 end i 1986 og 1985, hvilket igen formentlig skyldes det fugtige og kolde klima i 1987. Øget kaliumtildeling medførte en stærk stigning i LAD ($P < 0.0008$), som var synlig meget tidlig i vækstsæsonen (Fig. 3).



Figur 3. Bladarealindeks (LAI) i behandlingerne.

En samlet lineær regressionsanalyse for de tre år viste en signifikant positiv korrelation mellem tørstofudbytte og LAD. Linjens hældning var $13,6 \pm 4,6$ kg/dag (\pm s.e.) indenfor grænserne

af tørstofudbytte og LAD i denne undersøgelse. Denne sammenhæng var dog som ventet påvirket af år og vandingsbehandling. Afgrødens vækstrate i vandingsbehandling a blev endvidere relateret til det gennemsnitlige LAI i tre forskellige vækstfaser uden hensyn til kaliumbehandling. Som det ses i figur 4, var vækstraten nært relateret til LAI i de tre vækstfaser i lighed med sammenhængen mellem tørstofudbytte og LAD. En samlet regressionsanalyse viste, at størstedelen af variationen indenfor hver vækstfase skyldtes forskelle i vækstrate og LAI mellem år. I vækstfase 2 (Feekes skala: 9 - 11.1) fandtes den største vækstrate, som var omtrent det dobbelte af vækstraten i de andre to faser.

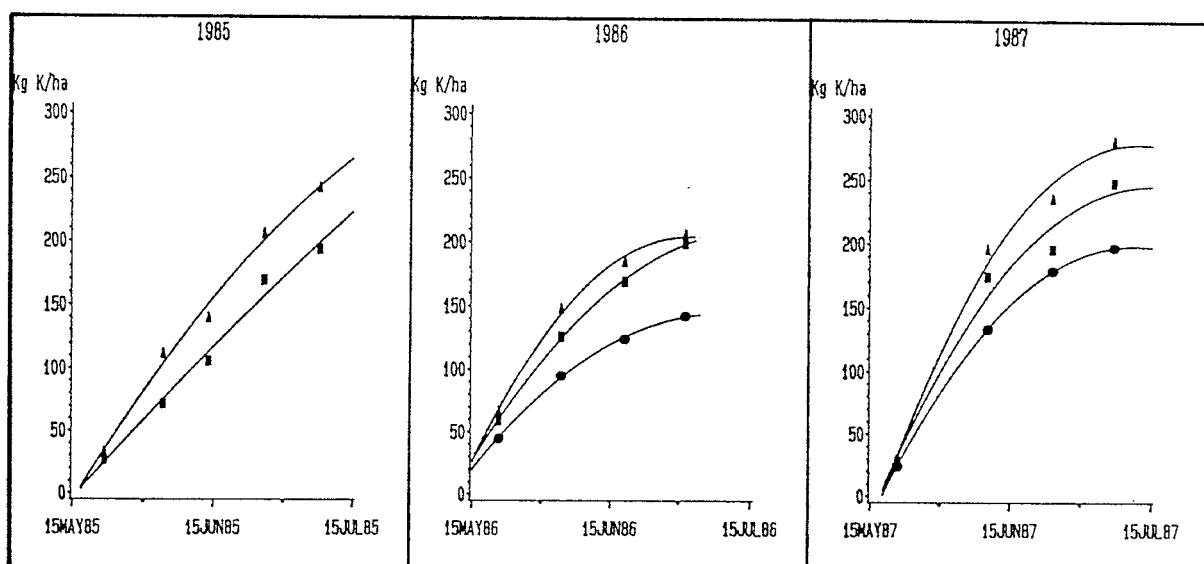


Figur 4. Vækstraten som funktion af gns. LAI i tre vækstfaser. A: fase 0 - 9; B: 9 - 11.1 og C: 11.1 - 11.2 (Feekes skala).

Selvom høj kaliumtildeling således øgede bladarealindekset og tørstoftilvæksten, synes kaliumniveau 1 at have været tilstrækkelig til at sikre et optimalt bladarealindeks med hensyn til kerneproduktion. Det er især de øverste dele af skuddene, der har betydning i denne forbindelse, idet ca. 45 % af kernetørstoffet stammer fra assimilater produceret i akset og ca. 55 % fra de to øverste blade og det øverste af stænglen (Thorne, 1965).

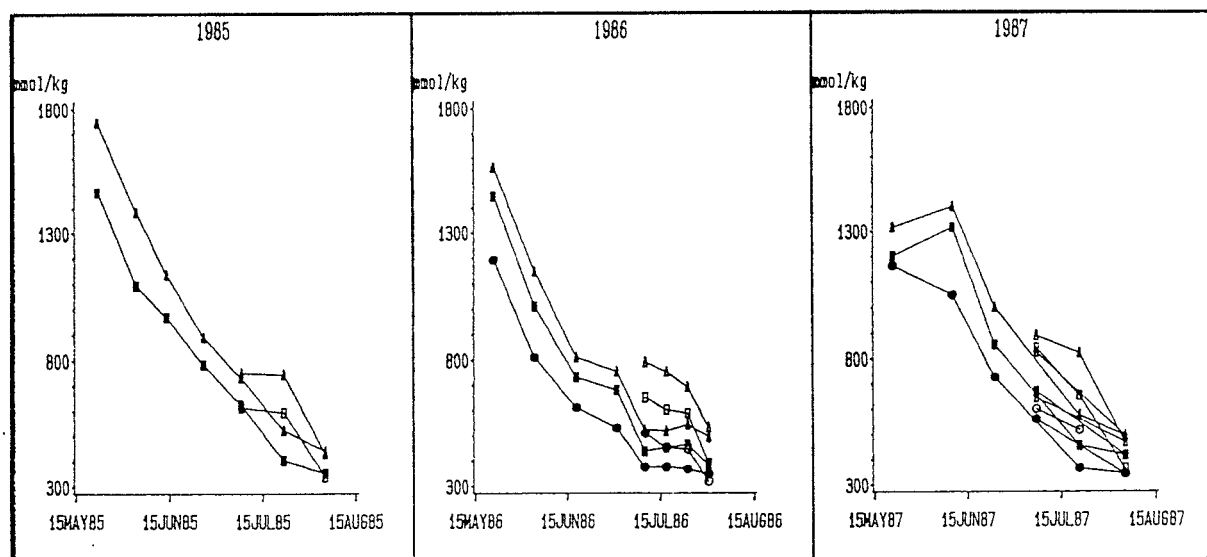
Næringsstoffoptagelse

Kaliumoptagelsen blev kraftigt øget tidligt i vækstsæsonen i alle år ved øget tildeling af kaliumklorid (Fig. 5). Optagelsen var i de fleste tilfælde større end den tilførte gødningsmængde og nåede i 1987 op på 280 kg/ha ved tilførsel af 200 kg K/ha.



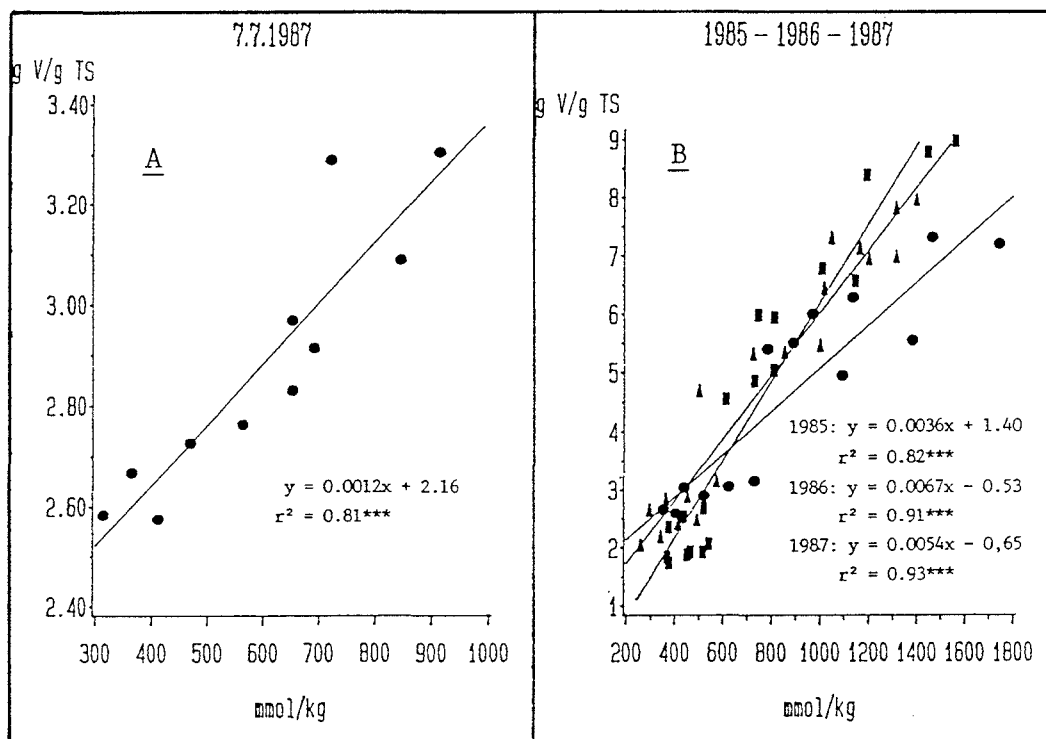
Figur 5. Kaliumoptagelsen i fuldt vandede led frem til kernefyldningsfasen i de tre vækstsæsoner. • 50 kg K/ha; ■ 125 kg/ha og ▲ 200 kg K/ha tilført.

Den øgede kaliumoptagelse afspejledes i kaliumkoncentrationen i totaltørstoffet, som blev øget ca. 30 % fra kaliumniveau 1 til 3 (Fig 6). Der blev endvidere på de enkelte prøvetagningstidspunkter fundet signifikant større koncentration af klorid, medens indholdet af natrium, calcium og magnesium i skudtørstoffet ikke var signifikant påvirket eller sænket i mindre grad. Tørke i den tidlige kernefyldningsfase påvirkede tørstoftilvæksten mere end kaliumoptagelsen, således at kaliumkoncentrationen steg under tørke.



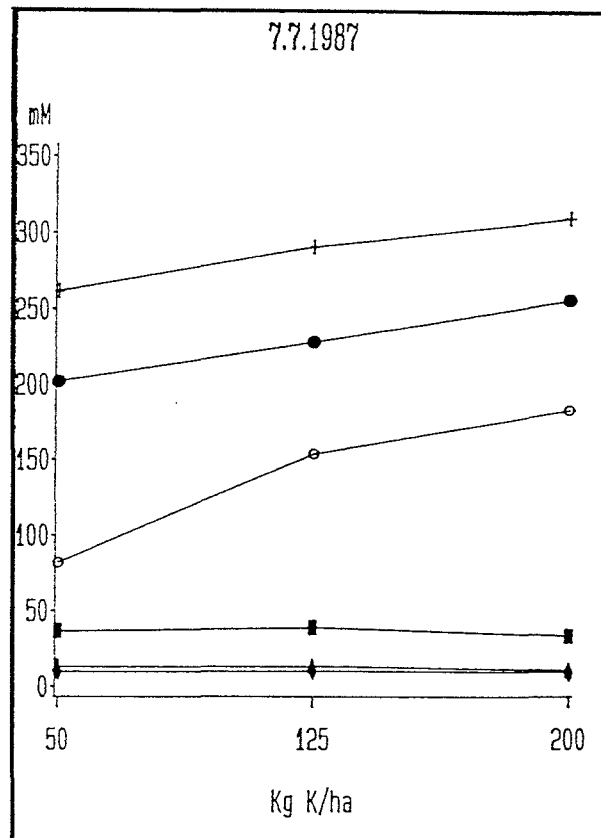
Figur 6. Kaliumkoncentration i skudtørstof i vandingsbehandling a: • 50 kg K/ha; ■ 125 kg K/ha; ▲ 200 kg K/ha og vandingsbehandling b: ○ 50 kg K/ha; □ 125 kg K/ha; ▲ 200 kg K/ha tilført.

Der blev fundet en lineær relation mellem vandindhold og kaliumkoncentration på tørstofbasis i stænglen i overensstemmelse med undersøgelser udført af Leigh & Johnston (1983a). Dette var tilfældet såvel på enkeltdage (Fig. 7A) som for vækstsæsonen indtil begyndende modning (Fig. 7B).



Figur 7. Vandindholdet i skud som funktion af kaliumkoncentrationen i tørstoffet. A. På enkeltdag. B. • 1985; ■ 1986; ▲ 1987.

Kaliumoptagelsen synes således i høj grad at have været bestemmende for planternes vandindhold, der blev forøget med ca. 20 % ved høj kaliumtildeling. Dette kan forklare det større blada-realindeks. Det øgede vandindhold skyldtes formentlig en osmotisk effekt af den øgede kaliumoptagelse, som vil øge turgortrykket i plantevævet. Ifølge Lockhardt (1965) vil dette medføre, at cellevolumenet øges, indtil turgor igen er faldet til en given tærskelværdi. I denne undersøgelse fandtes dog, at kaliumkoncentrationen i vævsvæsken øgedes med 20 - 50 mM med stigende kaliumtildeling (Fig 8). Kloridkoncentrationen steg ligeledes. Dette er i god overensstemmelse med, at det osmotiske potential, målt direkte på bladprøver samt ifølge tryk-volumenkurver, var mindsket med 0.05 - 0.10 MPa (Jensen et al., 1990).



Figur 8. Indhold af kationer og klorid i væsvæske i skud.

♦ Na; • K; ▲ Mg; ■ Ca; ○ Cl og + sum af kationer.

Den dominerende effekt af øget kaliumtildeling var imidlertid en øget cellestørrelse, der gav sig udslag i mindsket vævselasticitet (Jensen et al., 1990) og ændret blad- og stomatamorphologi (Lösch et al., 1990).

Konklusion

Gødskning med 125 og 200 kg K/ha i 49 % KCl øgede ikke kerneudbyttet af byg i forhold til gødskning med 50 kg K/ha på sandjord med lavt indhold af ekstraherbart kalium. Halmudbyttet øgedes med ca. 10 %. Vandudnyttelsen med hensyn til tørstofproduktion steg i forhold hertil, idet fordampningen ikke var påvirket af kaliumtildelingen. Dette gjaldt både for vandede og udtørrede behandlinger.

Kaliumgødskning bevirkede en øget biomassetilvækst tidligt i vækstsæsonerne 1985 og 1986. Ved tidlig kernefyldning var der således signifikant øget biomasse, som under tørke blev opretholdt igennem det meste af kernefyldningsfasen. Det betyder, at

grønbyg til kvægfoder bør tilføres ekstra kaliummængder. Kalium øgede bladarealindekset stærkt. Tørstofudbytte og vækstrate var positivt korreleret med bladarealindekset i de tre vækstsæsoner. Ved at øge tildelingen fra 50 til 200 kg K/ha øgedes optagelsen af kaliumklorid med ca. 30 %. Hovedvirkningen af dette var en forøgelse af planternes vandindhold med ca. 20 %. Dette kan tilskrives en osmotisk effekt af KCl på celledørrelsen og kan forklare det øgede bladarealindeks.

Erkendtlighed

Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd takkes for bevillinger til projektet. J. nr. 13-3514, 13-3689 og 13-3870.

Litteratur

Hsiao, T. C. & A. Läuchli. 1986. Role of potassium in plant water relations. I: Advances in Plant Nutrition, Vol. 2. Eds.: Tinker, B. og A. Läuchli. pp 281 - 312. Praeger, New York.

Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves. Edward Arnold, London. 248 p.

Jensen, C. R., M. N. Andersen & R. Lösch. 1990. The interaction of potassium application and drought in field grown spring barley. III. Leaf water relations characteristics. In preparation.

Lindhauer, M. G. 1983. Effect of potassium on water use efficiency. I: Nutrient Balances and the Need for Fertilizers in Semi-arid and Arid Regions. pp 81 - 98. Proc. 17th Coll. Int. Potash Inst. Bern, Switzerland.

Leigh, R. A. & A. E. Johnston. 1983a. Concentrations of potassium in the dry matter and tissue water of field-grown spring barley and their relationships to grain yield. J. Agric. Sci. 101, 675 - 685.

Leigh, R. A. & A. E. Johnston. 1983b. The effects of fertilizers and drought on the concentrations of potassium in the dry matter and tissue water of field-grown spring barley. *J. Agric. Sci.* 101, 741 - 748.

Lockhardt, J. A. 1965. An analysis of irreversible plant cell elongation. *J. Theor. Biol.* 8, 264 - 276.

Lösch, R., M. N. Andersen & C. R. Jensen. 1990. The interaction of potassium application and drought in field grown spring barley. IV. Stomatal response. In preparation.

Nelson, W. L. 1980. Interactions of potassium with moisture and temperature. I: Potassium for Agriculture. pp 109 - 112. Potash and Phosphate Inst. Atlanta, USA.

Thorne, G. N. 1965. Photosynthesis of ears and flag leaves of wheat and barley. *Ann. Bot.* 27, 155 - 174.

Van der Paauw, F. 1958. Relations between the potash requirements of crops and meteorological conditions. *Plant Soil* 9, 254 - 258.

Wyn Jones, R. G., C. J. Brady & J. Spiers. 1979. Ionic and osmotic relations in plant cells. I: Recent Advances in the Biochemistry of Cereals. Eds.: Laidman, D. L. og R. G. Wyn Jones. pp 63 - 103. Acad. Press, London, New York, San Fransisco.

Vanding og gødskning af vinterhvede

Indledning

Dyrkning af vinterhvede har fået en betydning på jordtyperne fra JB1 til JB4, for de som har vandingsanlæg til rådighed.

På Jyndevad forsøgsstation er forsøg med vand og kvælstof til vinterhvede gennemført fra 1981-84.

Forsøget blev gennemført med uvandet og vandet afdeling, der blev vandet hver gang, der var et forbrug på 50 pct. af markkapaciteten.

Kvælstof blev tildelt med 40 kg i marts og resten flere gange i vækstperioden, der blev opnået følgende udbytter - uvandet 50,6 og vandet 72,8 hkg pr. ha.

I 1985 blev der anlagt et nyt forsøg i vinterhvede, for at belyse hvordan tørkefølsomheden vil påvirke udbyttet i hvedens forskellige vækstfaser samt at undersøge om N- og PK-tildelinger har nogen betydning på hvedens vækst ved forskellige vandingsstrategier.

Forsøgsplan: Der vandes ved anførte tension.

Led	Fase I	Fase II	Fase III
1.	uvandet	uvandet	uvandet
2.	0,8	0,8	0,8
3.	2,0	0,8	0,8
4.	0,8	2,0	0,8
5.	0,8	0,8	2,0
6.	2,0	0,8	2,0
7.	2,0	2,0	0,8
8.	0,8	2,0	2,0
9.	2,0	2,0	2,0
10.	overdækket	0,8	0,8
11.	0,8	overdækket	0,8
12.	0,8	0,8	overdækket i beg.
13.	0,8	0,8	overdækket i slutn.

Fase I: Fra 1. april til stadium 8.

Fase II: Fra stadium 8 til stadium 10.5.4.

Fase III: Fra stadium 10.5.4. til gulmodenhed.

Tension 0,8 = 30 mm, tension 2,0 = 45 mm.

	12/3	beg. vækst el. senest 1/4	8-10/4	st. 4 (ca. 1/5)	st. 8 (ca. 1/6)	ved vanding
<hr/>						
N-gødskning						
a.		60		80	60	1-13
b.		60		140		2-5
c.	60			80	60	2-3
d.			200			2
e.			150			1-2
<hr/>						
PK-gødskning (grundplan)						
a+b		1/3		2/3		
x c	1/3			2/3		
d+e			3/3			
<hr/>						
PK varierer ved 2a						
y		1/3		1/3	1/3	
z		3/3				
<hr/>						

Til beskrivelse af stofproduktionen og næringsstoffoptagelsen er der i udvalgte led anlagt 1 ekstra parcel til høst igennem vækstperioden, hvor der analyseres for indhold af tørstof, N, NO₃-N, P og K. Efter skridning opdeles i strå og aks.

Ovedækning etableres så et underskud på 2,0 bar opnås henholdsvis tidligt i fase I, midt i fase II, midt i fase III og ved gulmodenhed. Hvis der ved de to sidste N-udbringninger ikke kom mindst 5 mm nedbør, skal der vandes med 10 til 15 mm for at opløse gødningen.

Forfrugter: 1985 og 1988 majs, havre

1987 majs, kartofler

Forsøget er ikke gennemført i 1986 på grund af vandskade og udfrysning.

N-udbringning

Har i gennemsnit af årene været inden for 8 dages variation, undtaget den første udbringning, hvor der er en forskel på 21 dage.

Tabel 1. Datoer for tildeling af kvælstof.

Led/kg N pr. ha	60	60	200	150	140	80	60
1985							
a		8/4				4/5	29/5
b		8/4			4/5		
c	31/3					4/5	29/5
d+e			10/4	10/4			
1987							
a		2/4				29/4	29/5
b		2/4			29/4		
c	12/3					29/4	29/5
d+e			9/4	9/4			
1988							
a		6/4				26/4	29/5
b		6/4			26/4		24/5
c	10/3					26/4	
d+e			13/4	13/4			

Nedbør og vanding

Nedbøren i 1985 og 1988 svarer nogenlunde til normalnedbøren. Medens der i 1987 er kommet 150 mm over normalnedbøren.

Tabel 2. Nedbør og vandbalance, mm.

<u>Nedbør</u>	1985	Tidsrum	1987	Tidsrum	1988	Tidsrum
Fase I	86	1/4-28/5	78	1/4-29/5	57	1/4-29/5
Fase II	80	29/5-26/6	127	30/5-2/7	40	25/5-20/6
Fase III	228	27/6-28/8	251	3/7-23/9	209	21/6-10/8
<u>Vandbalance</u>						
Fase I	-24	1/4-28/5	-84	1/4-29/5	-61	1/4-24/5
Fase II	-3	29/5-26/6	79	30/5-2/7	-39	25/5-20/6
Fase III	61	27/6-28/8	87	3/7-23/9	88	21/6-10/8

De overdækninger, som udføres kan give en tendens i hvilken fase, hvor udtørringen giver det største udbyttetab. I tabel 3 er der for de enkelte år opført hvor lang tid udtørringen har været for at nå 45 mm i underskud. Der er også foretaget en opgørelse, hvad de enkelte led er vandet med mm pr. fase og år. Igen adskiller 1987 sig fra de to andre år, at der kun er vandet i fase III ved 0,8 bar.

Label 3. Tilført mm vand i de enkelte faser, () antal vandinger pr. led og år.

år/led	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1985													
Fase I	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)	27(1)
Fase II*	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Fase II	34(1)	59(2)	43(1)	34(1)	59(2)	48(1)	43(1)	43(1)	48(1)	34(1)	51(1)	34(1)	34(1)
Fase III	25(1)	25(1)	25(1)	25(1)	40(1)	40(1)	25(1)	40(1)	40(1)	25(1)	25(1)	45+25	45+25
I alt	96	94	105	111	109	83	120	98	119	113	141	141	141

Overdækning: led 10 19/4-23/5, led 11 29/5-10/6, led 12 27/6-5/7, led 13 13/7-26/7.

1987

Fase I*	15	10	15	15	10	10	15	10	10	10+45(1)	15	15	15
Fase II										*10+45(1)			
Fase III	32(1)	32(1)	32(1)	32(1)	32(1)	32(1)	32(1)	32(1)	32(1)	32(1)	50(1)	50(1)	50(1)
I alt	47	42	47	15	10	42	15	10	87	102	65	65	65

Overdækning: led 10 21/4-22/5, led 11 30/5-17/6, led 12 3/7-16/7, led 13 23/7-10/8

1988

Fase I*	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Fase I	30(1)	45(1)	30(1)	30(1)	45(1)	45(1)	30(1)	45(1)	45(1)	45(1)	30(1)	30(1)	30(1)
Fase II*	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Fase II	60(2)	60(2)	45(1)	60(2)	60(2)	45(1)	45(1)	45(1)	45(1)	60(2)	45(1)	60(2)	60(2)
Fase III											42(1)	42(1)	42(1)
I alt	107	122	92	107	122	107	92	107	122	92	149	149	149

Overdækning: led 10 26/4-20/5, led 11 26/5-9/6, led 12 21/6-5/7, led 13 11/7-22/7.

*) Vandet for at opløse den tilførte gødning.

Udbytter

For at undersøge hvordan forskellige N-mængder påvirker udbyttet, når det bliver udbragt fra 1 til 3 gange i vækstperioden og vandede ved 30 mm underskud med 28-32 mm vand.

Tabel 4. Udbytter ved stigende N-mængde, gns. 1984, 87 og 88.

Led	hkg pr. ha		kg N pr. ha		N høstet i % af tilført N
	kerne	halm	kerne	halm	
2a	88,3	80,8	149,1	33,1	91,1
2b	85,4	90,9	142,9	36,9	89,9
2c	89,2	85,2	146,3	28,5	87,4
2d	83,1	89,4	148,3	41,3	94,8

Ved en deling af N-gødning på 3 udbringningstider led 2c i forhold til 1. udbringningstid led 2d, har det øget kerneudbyttet, medens halmmængden er blevet reduceret ved en 3-deling.

Der har i alle år været en fordel at udbringe N ad 3 gange, merudbytte har været fra 3,9 til 7,8 kg kerne.

Overdækninger

For at kunne belyse hvordan udbyttet blev påvirket ved udtørring ved 45 mm underskud i nogle udvalgte vækstfaser, blev der konstrueret flytbare overdækninger, som har stået over afgrøden indtil det ønskede underskud var nået.

I tabel 5 er der foretaget en opstilling for de enkelte år, fuldt vandet, uden overdækning, og overdækning samt gennemsnit ved samme N-tildeling.

	Overdækket fra stadium	1985	1987	1988	gns.	forholds- tal
2a	- overdækning	92,9	87,2	84,8	88,3	100
10a	2	93,4	85,9	74,9	84,7	96
11a	8	86,5	81,8	83,3	84,0	95
12a	10.5.4.	81,5	83,7	79,0	81,4	92
13a	11.2.	89,2	87,6	84,9	87,2	99

I gennemsnit af årene er det fra stadium 8 til 11.2., som har givet det største udslag for en udtørring på 72 pct. af markkapaciteten.

Ved en meget kraftig fordampning, kan der fremtvinges en stresset periode for planten, hvor vandoptagelsen ikke kan følge med forbruget, som det skete i 1987, hvor der på 3 dage midt i maj var en fordampning på 17 mm, hvor led 10a havde et udbyttetab på 9,9 hkg i forhold til fuldt vandet.

Udbytter for de enkelte år i kerne og halm er opgjort i tabel 6.

N-optagelse

Ved en tildeling af kvælstof ad flere gange igennem vækstperioden, kan der tages hensyn til miljøet og derved forhindre større udvaskning af kvælstof. Hvis der dyrkes brødhvede, kan man styre N-indholdet i kerne i forhold til éngangsgødskning.

For samme N-mængde og vanding er der i gennemsnit af årene en forskel fra 1 til 7 kg N pr. ha i kernen, i halmen er den fra 4,4 til 12,8 kg N pr. ha efter tabel 4.

I tabel 7 er kg N optaget i kerne og halm opgjort for alle år. Variationen for optagelse i kernen med samme N-mængde og vanding fra 67 til 72 pct. af tilførte. I halmen er forskellen større, men det er især 1987 som giver udslaget. I gennemsnit af samtlige led er det 1987, som har den bedste optagelse med 198 kg N pr. ha, medens det i 1988 er på 185 kg N pr. ha.

Konklusion

For at beskytte miljøet, skal N udbringes ad 3 gange for de landmænd, som kan vande og så samtidigt få opløst gødningen.

Der vandes fra stadie 8 til 11,2 hver gang, der har været et forbrug på 50 pct. af markkapaciteten.

Tabel 6. Udbytte i kerne og halm, hkg pr. ha med 15% vand.

Led	kerne			Led	halm		
	1985	1987	1988		1985	1987	1988
			gns.				gns.
1a	53,2	87,7	55,9	1a	80,3	85,4	46,8
2a	92,9	87,2	84,8	2a	81,1	88,4	73,0
3a	93,2	85,9	79,4	3a	79,2	90,1	69,9
4a	96,5	88,1	81,3	4a	88,1	88,9	69,2
5a	91,9	90,8	86,1	5a	84,0	91,0	74,4
6a	89,4	87,4	78,9	6a	81,7	89,9	69,2
7a	80,0	85,5	80,7	7a	66,4	89,0	70,0
8a	90,4	86,4	81,3	8a	81,1	90,3	69,7
9a	82,4	89,0	83,0	9a	72,2	92,1	70,4
10a	93,4	85,9	74,9	10a	85,4	84,6	65,5
11a	86,5	81,8	83,3	11a	74,7	78,9	66,7
12a	81,5	83,7	79,0	12a	78,3	87,7	72,3
13a	89,2	87,6	84,9	13a	92,3	92,8	75,7
2b	93,1	81,8	81,2	2b	98,6	96,4	77,7
3b	94,6	80,7	76,7	3b	77,2	95,5	75,1
4b	91,3	83,2	79,0	4b	92,6	96,4	74,7
5b	88,6	83,6	77,9	5b	83,4	91,9	75,0
2c	95,8	87,5	84,4	2c	90,6	93,1	71,8
3c	93,7	88,8	79,4	3c	74,2	95,6	68,0
2d	91,9	79,7	77,7	2d	91,6	95,6	81,0
1e	50,7	80,3	59,6	1e	70,2	91,6	51,5
2e	89,3	80,2	78,7	2e	87,1	92,8	71,9
			82,7				83,9

Tabel 7. Kg N optaget pr. ha i kerne og halm.

2-8508 N - optaget, 1985				N - optaget, 1987				N - optaget, 1988			
Led	Kerne	Halm	I alt	Kerne	Halm	I alt		Kerne	Halm	I alt	
1a	120,7	47,8	168,5	148,3	45,0	193,3		132,1	27,5	159,6	
2a	154,7	33,1	187,8	148,3	50,4	198,7		144,2	39,1	183,3	
3a	154,5	34,3	188,8	145,3	52,1	197,4		136,3	41,0	177,3	
4a	160,0	37,4	197,4	151,3	52,1	203,4		144,4	38,2	182,6	
5a	158,6	31,4	190,0	149,7	44,8	194,5		145,7	37,3	183,0	
6a	154,3	31,2	185,5	138,9	48,1	187,0		138,1	37,1	175,2	
7a	146,2	32,7	178,9	143,9	53,7	197,6		138,2	39,3	177,5	
8a	160,6	35,8	196,4	144,0	47,6	191,6		141,7	40,9	182,0	
9a	149,2	33,1	182,3	146,8	52,5	199,3		139,6	41,9	181,5	
10a	159,5	31,9	181,4	143,8	48,9	192,7		140,0	37,9	177,9	
11a	152,9	31,1	184,0	145,3	55,7	201,0		151,5	38,6	190,1	
12a	140,0	36,0	176,0	143,6	54,4	198,0		143,1	35,6	178,7	
13a	155,4	32,9	188,3	156,4	51,3	207,7		149,3	38,6	187,9	
2b	151,1	36,9	188,0	137,6	59,0	196,6		140,0	45,6	185,6	
3b	151,1	32,1	183,2	141,3	59,3	200,6		136,9	50,5	187,4	
4b	146,7	33,8	180,5	144,3	61,4	205,7		137,0	52,1	189,1	
5b	146,0	32,6	176,6	140,7	52,4	191,1		139,8	54,2	194,0	
2c	149,8	28,5	178,3	148,8	53,0	201,8		139,9	39,0	178,9	
3c	150,6	24,6	175,2	143,3	52,0	195,3		137,7	40,4	178,1	
2d	154,7	41,3	196,0	134,9	58,5	193,4		155,1	55,1	210,2	
1e	96,6	43,0	139,6	118,1	40,5	148,6		127,7	26,2	154,9	
2e	129,8	27,4	157,2	114,6	44,2	158,8		122,0	38,5	160,5	

Tabel 8. Kg K optaget pr. ha i kerne og halm.

2-8508 K - optaget, 1985				K - optaget, 1987				K - optaget, 1988			
Led	Kerne	Halm	I alt	Kerne	Halm	I alt		Kerne	Halm	I alt	
1a	19,4	84,6	104,0	28,3	48,6	76,9		22,3	44,2	66,5	
2a	36,3	86,1	122,4	27,4	36,8	64,2		33,2	85,7	118,9	
3a	35,7	83,4	119,1	25,6	49,8	75,4		29,3	80,8	110,1	
4a	37,7	98,0	135,7	25,5	42,3	67,8		30,4	74,7	105,1	
5a	36,7	94,3	131,0	26,2	34,8	61,0		33,0	87,3	120,3	
6a	35,0	84,0	119,0	27,5	48,1	75,6		31,5	78,8	110,3	
7a	29,2	74,0	103,2	26,2	40,9	67,1		30,9	77,3	108,2	
8a	36,1	88,2	124,3	25,7	45,3	71,0		31,1	79,4	110,5	
9a	30,1	77,3	107,4	27,2	27,4	54,6		32,4	80,2	112,6	
10a	37,3	90,7	128,0	26,3	42,4	68,7		29,3	96,4	125,7	
11a	30,1	83,2	113,3	25,0	59,0	84,0		31,1	73,7	104,8	
12a	33,3	91,2	124,5	25,6	52,9	78,5		29,6	76,2	105,8	
13a	35,6	72,9	108,5	28,3	41,8	70,1		32,5	88,8	121,3	
2b	36,4	112,3	148,7	23,6	49,2	72,8		30,4	87,8	118,2	
3b	36,2	78,1	114,3	22,6	39,0	61,6		30,6	89,4	120,0	
4b	34,2	104,6	138,8	26,9	60,6	87,5		31,6	85,8	117,4	
5b	35,4	84,3	119,7	26,3	19,5	45,8		31,8	86,0	117,8	
2c	37,5	86,3	123,8	28,3	38,0	66,3		33,7	79,9	113,6	
3c	37,5	76,3	113,8	26,4	61,8	88,2		31,7	71,1	102,8	
2d	34,4	105,1	139,5	22,4	46,3	68,7		31,7	101,9	133,6	
1e	19,0	71,6	90,6	24,6	17,9	42,5		22,3	37,2	59,5	
2e	35,7	83,6	119,3	23,9	33,9	57,8		30,8	74,6	105,4	

DELTAGARE VID NJF-SEMINARIUM 151, VATTNINGSBEHOV OCH NÄRINGSTILLFÖRSEL

Vid.ass. Annette Andersen Afd. for Kulturteknik, SP, Jyndeved Flensborgvej 22 DK-6330 TINGLEV Danmark	Førsøgsleder Jørn Nygaard Sørensen Institut for Grønsager Kirstinebjergsvej 6 DK-5792 ÅRSLEV Danmark
Konsulent Bente Andersen Udkørsvej 15 DK-8200 ÅRHUS N Danmark	Lektor V. Overgaard Mogensen Inst. for Kulturteknik og Plante- ernæring, KVL, Agrovej 10 DK-2630 TAASTRUP Danmark
Vid.ass. Mathias Andersen Afd. for Kulturteknik, SP, Jyndeved Flensborgvej 22 DK-6360 TINGLEV Danmark	Vid.ass. Finn Plauborg Afd. for Jordbruksmet. SP Førsøgsanl. Foulum, P.O.Box 25 DK-8830 TJELE Danmark
Forstander Lorens Hansen Statens Førsøgsstation, Jyndeved Flensborgvej 22 DK-6360 TINGLEV Danmark	Forsker Kristian Thorup-Kristensen Gl. Byvej DK-5792 ÅRSLEV Danmark
Vid.ass. Ejvind Hejlesen Afd. for Kulturteknik, SP, Jyndeved Flensborgvej 22 DK-6360 TINGLEV Danmark	Hortonom Sven Tuveesson Amagerfrø P.O.Box 3 DK-2630 TAASTRUP Danmark
Forstander Kaj Henriksen Institut for Grønsager Kirstinebjergvej 6 DK-5792 ÅRSLEV Danmark	Cand.scient Hans S. Østergaard Landskontoret for Planteavl Udkørsvej 15, Skejby DK-8200 ÅRHUS N Danmark
Konsulent Ole Holst Nielsen Hedeselskabet P.O.Box 110 DK-8800 VIBORG Danmark	Assistent Seija Ahonen Inst. Trädgårdsvetenskap Helsingfors Universitet SF-00710 HELSINGFORS Finland
Lektor Christian R. Jensen Inst. for Kulturteknik og Plante- ernæring, KVL, Thorvaldsensvej 40 DK-1871 FREDERIKSBERG C Danmark	Dr. Martti Heikenneimo Finnish Meteorological Institute P.O. Box 503 SF-00101 HELSINKI 10 Finland
Professor Henry Jensen Inst. f Kulturteknik og Plante- ernæring, KVL, Thorvaldsensvej 40 DK-1871 FREDRIKSBERG C Danmark	Forskare Tuomo Karvonen Dept. of Plant Husbandry Univ. of Helsinki SF-00710 HELSINKI Finland
Vid.ass Uffe Jørgensen Afd. for Kulturteknik, SP, Jyndeved Flensborgvej 22 DK-6330 TINGLEV Danmark	Forskare Raili Pessala Lantbr.Forskn.central Forskn.anst f trädgårdsprod SF-21500 PIIKKIÖ Finland
Professor Niels Erik Nielsen Inst. for Kulturteknik og Plante- ernæring, KVL, Thorvaldsensvej 40 DK-1871 FREDERIKSBERG C Danmark	Forskare Liisa Pietola MTTK/MKF SF-31600 JOKIONEN Finland
Produktchef Kim Nybye Amagerfrø P.O.Box 3 DK-2630 TAASTRUP Danmark	Trädgårdsagr. Tanska Tuija Maatalouskeskusten Liito Lönnrotsgatan13 SF-00120 HELSINGFORS Finland

Forsker Egil Ekeberg
Kise Forskingsstasjon
N-2350 NES PÅ HEDMARK Norge

Herredsagronom Steinar Fundingsrud
Landbrukskontoret i Eidsberg
N-1850 MYSEN Norge

Forsker Kristian Lie Kongsrud
Kise Forskingsstasjon
N-2350 NES PÅ HEDMARK Norge

Professor Einar Myhr
Institutt for hydroteknikk, NLH
N-1432 ÅS.NLH Norge

Sr.Agronom Dag Reiersen
P.O.Box 200
N-1321 STABEKK Norge

Forsker Hugh Riley
Kise Forskingsstasjon
N-2350 NES PÅ HEDMARK Norge

Forskningssjef Bengt Rognerud
GEFO
Postl. 9
N-1432 ÅS-NLH Norge

Forsker Hans Stabbetorp
Apelsvoll Forskingsstasjon
N-2858 KAPP Norge

Ringleder Erling Stubhaug
Arendal-Grimstad Forsøksring
Landvik
N-4890 GRIMSTAD Norge

Lantbrukskons. Carl Andersson
Lantbruksnämnden i Kristianstads län
S-291 25 KRISTIANSTAD Sverige

Lantbrukskons. Lena Andersson
Bondöv. Pl. 3139
S-435 39 MÖLNLYCKE Sverige

Hortonom Ingemar Bengtsson
Mäster Grön
P.O.Box 14048
S-250 14 HELSINGBORG Sverige

Agr.Dr. Göte Bertilsson
Supra AB
P.O.Box 516
S-261 24 LANDSKRONA Sverige

Forskn.ledare Göran Carlsson
Jordbrukstekniska Institutet
P.O.Box 7033
S-750 07 UPPSALA Sverige

Försöksledare Haldo Carlsson
Inst. för växtodlingslära, SLU
P.O.Box 7043
S-750 07 UPPSALA Sverige

Benny Carlsson
Supra Trädgård
P.O.Box 516
S-261 24 LANDSKRONA Sverige

Agronom Marie Ekvall
Myrvälder
S-620 33 TINGSTÄDE Sverige

Försöksledare Gunnar Erlandsson
Försöksavd. f. köksväxtodling, SLU
P.O.Box 55
S-230 53 ALNARP Sverige

Hortonom Ruzena Gajdoz
Inst. för trädgårdsvetenskap, SLU
P.O.Box 55
S-230 53 ALNARP Sverige

Forskarass. Enok Haak
Inst f. markvetenskap, SLU
P.O.Box 7014
S-750 07 UPPSALA Sverige

Agronom Arne Joelsson
Länsstyrelsen i Hallands län
S-301 86 HALMSTAD Sverige

Professor Waldemar Johansson
Avd. för lantbrukets hydroteknik, SLU
P.O.Box 7014
S-750 07 UPPSALA Sverige

Försöksass. Göran Johansson
Försöksavd. f. hydroteknik, SLU
P.O.Box 7014
S-750 07 UPPSALA Sverige

Lantbrukskons. Ingvar Jonsson
Lantbruksnämnden i M-län
P.O.Box 3514
S-200 22 MALMÖ Sverige

Hortonom Helen Karlebratt
Försöksavd. f norrländsk trädg.odl.
SLU, P.O.Box 5097
S-900 05 UMEÅ Sverige

Tekniker Torsten Kellander
Torslunda försöksstation
S-386 00 FÄRJESTADEN Sverige

Försöksledare Lars Kristiansson
Statens Maskinprovningar
P.O.Box 56
S-230 53 ALNARP Sverige

Statshortonom Sven Lindfors
Inst. f trädgårdsvetenskap, SLU
P.O.Box 55
S-230 53 ALNARP Sverige

Statsagronom Harry Linnér
Försöksavd. för hydroteknik, SLU
P.O.Box 7014
S-750 07 UPPSALA Sverige

Civilekonom Lars-Olof Lothigius
Lotico AB
Rörum 24
S-272 95 SIMRISHAMN Sverige

Agronom Birger Lövgren
Supra AB
P.O.Box 516
S-261 24 LANDSKRONA Sverige

Försöksledare Margareta Magnusson
Förs.avd. f norrländsk trädgårdsodl.
SLU, P.O.Box 5097
S-900 05 UMEÅ Sverige

Techn.Consult. Sven-Olof Malmqvist
Kemira Kemi AB
P.O.Box 902
S-251 09 HELSINGBORG Sverige

Hortonom Berit Mattsson
Lantbruksteknik, SLU
P.O.Box 66
S-230 53 ALNARP Sverige

Agronom Björn Nilsson
Starks väg 22
S-621 48 VISBY Sverige

Adjunkt Jacob Nyholm
Inst. f lantmästar och trädgårds-
teknikerutbildning P.O.Box 69
S-230 53 ALNARP Sverige

Odlingskons. Olle Olofsson
Olle Olofssons Grönsaksrådgivning
Skeppsbrokajen
S-261 35 LANDSKRONA Sverige

Forskningsing. Jan Parsby
Inst. för ekologi och miljövard, SLU
P.O.Box 7072
S-750 07 UPPSALA Sverige

Försöksledare Ragnar Persson
Försöksavd. f hydroteknik,
SLU, P.O.Box 7014
S-750 07 UPPSALA Sverige

Direktör Lars Rosenqvist
Rosenqvist Mek. Verkstads AB
Gringelstadsv.118
S-291 91 KRISTIANSTAD Sverige

Agronom Håkan Skoug
Biospectron AB
Sireköpinge 1180
S-260 22 TÅGARP Sverige

Agronom Ingrid Steén
Supra AB
P.O.Box 516
S-261 24 LANDSKRONA Sverige

Lantbruksing. Stig Svenmar
Lantbruksnämnden i E-län
P.O.Box 435
S-581 04 LINKÖPING Sverige

Forskningsass. Sven-Erik Svensson
Inst. för lantbruksteknik, SLU
P.O. Box 66
S-230 53 ALNARP Sverige

Agr.lic. Hans Ivar Svensson
Lantbrukskemiska stationen
P.O.Box 9024
S-291 09 KRISTIANSTAD 9 Sverige

Lantmästare Börje Thuresson
Lantbruksnämnden i Kalmar län
P.O.Box 707
S-391 27 KALMAR Sverige

Agronom Ted Velander
Supra AB
P.O.Box 516
S-261 24 LANDSKRONA Sverige

Agr.lic Atle Wredin
Inst. f trädgårdsvetenskap, SLU
P.O.Box 516
S-230 53 ALNARP Sverige

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE.

- 81:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K., Ingvarsson, A., Karlsson, I., Karlsson, S.-E.:
Resultat av 1980 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och
bevattning. 13 + 47 + 38 s.
- 82:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1981 års fältförsök
avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 80 s.
- *83:1 Berglund, G., Eriksson, J. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1982 års fältförsök avseende
täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 82 s.
- 83:2 Bjerketorp, A.: Höjning av nivåerna vid lågvattenföringar i Forsmarksåns vattensystem upp-
ströms Lövestabruk. 4: Vattenstånden i den centrala sjökedjan. 41 s.
- 84:1 Berglund, G., Eriksson, J., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av
1983 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 103 s.
- 84:2 McAfee, M.: Assessing the effects of mole drainage on physical properties of a peat soil.
Results from an experiment in mole drainage laid down in 1983. 23 s.
- 85:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av
1984 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 89 s.
- 85:2 Jernlås, R.: Transport av bekämpningsmedel efter markapplikering. Litteraturstudie och
experiment. 33 s.
- 85:3 McAfee, M.: Ytsänkning på torvjord. Bälinge Mossar 1904-1984. 31 s.
- 85:4 Heimer, A.: Värmlands Säby: Bestånds- och rotutveckling efter yttäckning och strukturkalk-
ning på en slammingsbenägen, torkkänslig mellanlera. 55 s.
- 85:5 Aronsson, Y.: Markförsämring genom saltanrikning. 87 s.
- 85:6 Bjerketorp, A. & Josefsson, L.: Vattenföring genom cirkulära brotrummor. Beräkningssätt
under olika hydrauliska betingelser. 16 s.
- 85:7 Armstrong, B.: Bevattning - en global översikt. 55 s.
- 86:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Svensson, M., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.:
Resultat av 1985 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och
bevattning. 85 s.
- 86:2 Bjerketorp, A. & Johnson, L.: Kalhuggningens och skogsdikningens inflytande på vattendra-
gens flöden. En kortfattad kunskapsöversikt. 15 s.
- 86:3 Johansson, W.: Rapport över nordisk forskarkurs om markluft. 30 s.
- 87:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av
1986 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 100 s.
- 87:2 Ljung, G.: Mekanisk analys. Beskrivning av en rationell metod för jordartsbestämning. 13 s.
- 87:3 Benz, J.: Underbevattning. Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup
till grundvattenytan på en lerig grovmo. S. 1-15.
Alinder, S.: Avloppsvatten för underbevattning. Försök med biologiskt renat avloppsvatten
till underbevattning. S. 16-24.
- 87:4 Olovsson, I.: Tubulering - En metod att förbättra dräneringen på jordar med låg genomsläpp-
lighet. 35 s.
- 87:5 Segerros, M.: Inverkan av uppdämning på grundvattenstånd. En studie på Mästermyr. 67 s.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien (forts).

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE.

- 88:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K., Karlsson, S.-E. & Gustafsson, E.-L.: Resultat av 1987 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 80 s.
- 88:2 Nilsson, Å.: Syrediffusion och redoxpotential vid olika markvattenhalter i styv lera. 54 s.
- 88:3 Rehn, J.-E.: Slitsdränering. Teknisk-hydrologisk utvärdering av en ny dräneringsteknik. 37 s.
- 88:4 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 1: Grundläggande begrepp. 35 s.
- 88:5 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 2: Hydrostatik. 76 s.
- 88:6 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 3: Grunddragen av vätske- och gasrörelsens kinematik. 39 s.
- 88:7 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 5: Ideala, inkompressibla fluiders rörelse. 47 s.
- 88:8 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 6: Impuls-rörelsemängdsprincipen. 23 s.
- 88:9 Sandsborg, J. & Bjerketorp, A.: Kompendium i elementär hydromekanik. 7: Reella fluiders rörelse. 28 s.
- 88:10 Bjerketorp, A. (Red.): Jord och vatten hemma och borta. V. Seminarieuppsatser HT-88 i huvudavvattning, översedda och utgivna... Under arbete.
- 89:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E.: Resultat av 1988 års fältförsök avseende detaljavvattning, markvård och markförbättring samt bevattning. 74 s.
- 89:2 Persson, L. & Jernlås, R.: Apparat för kolonnexperiment under omättade förhållanden. Manuskript.
- 89:3 Berglund, K.: Ytsänkning på mosstorvjord. Sammanställning av material från Lidhult, Jönköpings län. 18 s.
- 89:4 Messing, I.: Saturated hydraulic conductivity as related to macroporosity in clay soils. 21 s.
- 89:5 Karlsson, I. M.: Markbyggnad för bostads- och rekreationsområden. Prioritering av forskningsinsatser. 17 s.
- 89:6 Håkansson, A.: Filtermaterial för dränering. Kommentarer till en serie demonstrationsprover av grus- och sågspånsmaterial. 11 s.
- 89:7 Persson, R. & Wredin, A. (red.): Vattningsbehov och näringstillförsel. Föredrag presenterade vid NJF-seminarium nr 151, Landskrona 1-3 aug. 1989. 275 s.
- 89:8 Nitare, M.: Rotutveckling i majs. Examensarbete i hydroteknik. 39 s.

* Upplagan har tagit slut.

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

DISTRIBUTION:

Sveriges Lantbruksuniversitet

ISSN 0282-6569

Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

750 07 UPPSALA, Sverige

Tel. 018-67 11 65, 67 11 81
